



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA
PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE ELEMENTOS
MINERALES EN LAS FRACCIONES MICELAR E HIDROSOLUBLE DE LA
LECHE DE CABRAS SAANEN DURANTE LA PRIMERA Y SEGUNDA
LACTACIÓN.

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA:

ALMA ARIANNA LECHUGA ARANA

TUTOR

MVZ MSc. RENE ROSILES MARTÍNEZ. FMVZ. UNAM.

COMITÉ TUTORAL

BIOL MC DRA. REGINA DORINDA MONTERO MONTOYA, IIB, UNAM
MVZ MC DR. MAURICIO VALENCIA POSADAS, DICIVA, UG

MÉXICO, D.F.

ABRIL 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS

A Valeria, mi niña, porque desde que supe que existías, pude sentir el amor más bonito de vivir por y para alguien.

Te quiero princesa.

A Abner, porque quién mejor que tú, sabe todo lo que nos ha costado culminar este trabajo, esta etapa. Gracias por tu incansable ayuda, tu apoyo incondicional, tu comprensión, pero sobre todo tu amor.

No me imagino una historia, una vida, sin ti.

A mi mamá y mi papá por llenar de infinito amor todos los días de mi vida. Por saberlos y sentirlos tan cerca de mí siempre, apoyándome en cada paso que doy.

Sin ustedes sencillamente esto no hubiera sido posible.

A mi hermano y mis padrinos, con todo mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, nuevamente gracias por permitirme continuar mis estudios y hacerme sentir siempre en casa, orgullosamente puma.

Al Dr. René Rosiles Martínez, por recibirme con los brazos abiertos. Gracias por compartirme tanto de su conocimiento pero sobre todo, por permitirme conocer a esa persona, a la cual le estoy infinitamente agradecida.

A mi Comité Tutorial, Dra. Regina D. Montero Montoya y Dr. Mauricio Valencia Posadas por su buena disposición siempre, sus comentarios, ideas, pero sobre todo, su apoyo cuando más lo necesité.

A la Asociación de Caprinocultores Unidos de Guanajuato, A.C., en especial al Sr. Jesús Jiménez Oliveros por todas las facilidades para permitirme realizar dentro de Puente Colorado, parte de la etapa experimental de este trabajo.

A mi jurado, doctores: Andrés E. Ducoing Watty, Maximino Huerta Bravo, Jorge L. Tórtora Pérez y Aurora H. Ramírez Pérez, por todos sus comentarios a favor de este trabajo.

A Clara Aguillón, por facilitar tanto el camino y estar siempre dispuesta a ayudar.

A Daniel Díaz, por darle un muy buen fin a este trabajo, gracias por toda tú ayuda en la parte estadística.

A Pablo Barrón y Mara León, por haber hecho de esta Maestría algo más bonito, dándome su ayuda, compartiéndome sonrisas y excelentes momentos.

A Oscar Barrón, por brindarme tú ayuda en la recolección de muestras y datos.

A Pablo Caballero, por darnos cobijo cuando más lo necesitábamos, gracias infinitas “hermano”.

A Carlos Cedillo, por compartir conmigo tus conocimientos desde la primera tesis y ahora ésta, pero sobre todo gracias por tu amistad.

A Georgina Hernández, por estar en el momento justo. Gracias a ti, estoy aquí.

A Ana, Mónica, Itzel, Iris, Norma, y Marco Daniel, gracias por tantos años de amistad. Con mucho cariño les comparto este logro, porque aunque nuestros caminos nos dispersen cada día más, yo sé que siempre estarán conmigo.

Yo seguiré caminando mientras no me sueltes de tu mano... Gracias Dios.

EVALUACIÓN DE LA VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE ELEMENTOS MINERALES EN LAS FRACCIONES MICELAR E HIDROSOLUBLE DE LA LECHE DE CABRAS SAANEN DURANTE LA PRIMERA Y SEGUNDA LACTACIÓN.

MVZ. Alma Arianna Lechuga Arana. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México.

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la variación del contenido de elementos minerales en las fracciones micelar e hidrosoluble de la leche cabras Saanen de primera y segunda lactación. Se seleccionaron aleatoriamente cabras de primera (n=10) y segunda lactación (n=10) de una producción ubicada en Apaseo El Grande, Gto., México. De ambos grupos de animales se obtuvo una muestra mensual de leche (30 ml) durante el periodo de lactancia (marzo a septiembre) de cada uno de los animales. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Toxicología del Departamento de Nutrición y Bioquímica de la FMVZ-UNAM. La preparación de las muestras incluyó una precipitación con metanol, un centrifugado para la obtención de un botón y una digestión ácida, que representó la fracción micelar, mientras que el sobrenadante se tomó como la fracción hidrosoluble; posteriormente por medio de Espectrometría de Absorción y Emisión Atómica, se determinó el contenido de los elementos minerales esenciales (Na, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Se) y tóxicos (Ni, Cd y As) en ambas fracciones. P se determinó por medio de espectrofotometría colorimétrica. Los resultados obtenidos mostraron que al ajustar la curva de producción de las cabras de primera y segunda lactación, el pico de producción, el índice de persistencia y el rendimiento máximo fueron de 75.7 y 64.3 días, 7.9 y 7.2%, y 3.05 y 4.09 litros, respectivamente. Los minerales Na, Mg, Zn, K y As presentaron una correlación positiva entre la concentración mineral ajustada con la producción láctea total y los días en lactación para las hembras de primera lactación ($r > 0.9$; $p < 0.05$). Por el contrario, para las hembras de segunda lactancia, los minerales Ca, Se y P presentaron un coeficiente de correlación negativo ($r < -0.75$; $p < 0.05$). El contenido de elementos minerales a lo largo del periodo de lactación mostraron variaciones entre grupos, sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre ellos ($p > 0.05$). Para ambos grupos, el K se presentó en mayor proporción en la fracción hidrosoluble, mientras que Fe y Cu no se detectaron. En conclusión, la mayor proporción de los elementos minerales esenciales seleccionados en este estudio se encontraron en la fracción micelar con excepción del K. La valoración del contenido de los minerales con base en el ajuste de la producción de la leche, resultó indispensable para identificar las variaciones de éstos a lo largo del periodo de lactación entre los animales de ambos grupos.

Palabras clave: Leche de cabra, minerales esenciales, minerales tóxicos, fracción micelar, fracción hidrosoluble.

CONTENIDO

<u>1</u>	<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>1</u>
<u>2</u>	<u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	<u>3</u>
2.1	ESTADÍSTICAS PECUARIAS NACIONALES	3
2.2	¿QUÉ ES LA LECHE?	3
2.3	CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS DE LA LECHE DE CABRA	4
2.4	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LECHE DE CABRA	5
2.4.1	LÍPIDOS	6
2.4.2	PROTEÍNAS Y AMINOÁCIDOS	7
2.4.3	CARBOHIDRATOS	7
2.4.4	VITAMINAS	8
2.5	COMPOSICIÓN MINERAL Y FACTORES DE VARIACIÓN DE LA LECHE DE CABRA	8
2.6	FACTORES DE DISTRIBUCIÓN DE LOS MINERALES EN LA LECHE	10
2.7	ELEMENTOS MINERALES ESENCIALES	11
2.8	ELEMENTOS MINERALES TÓXICOS	12
2.9	CURVA DE LACTACIÓN	15
2.10	COMPLEMENTACIÓN MINERAL Y SU IMPORTANCIA	16
<u>3</u>	<u>JUSTIFICACIÓN</u>	<u>19</u>
<u>4</u>	<u>HIPÓTESIS</u>	<u>19</u>
<u>5</u>	<u>OBJETIVOS</u>	<u>19</u>
5.1	OBJETIVO GENERAL	19
5.2	OBJETIVOS PARTICULARES	19
<u>6</u>	<u>MATERIAL Y MÉTODOS</u>	<u>20</u>
6.1	LUGAR DE ESTUDIO	20
6.2	PROGRAMA DE MUESTREO	21
6.3	ANÁLISIS DE LABORATORIO	22
6.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	24
6.4.1	AJUSTE DE LAS CURVAS DE LACTACIÓN	24
6.4.2	DISTRIBUCIÓN DE LOS MINERALES EN LAS FRACCIONES MICELAR E HIDROSOLUBLE DE LA LECHE	25
6.4.3	ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN MINERAL AJUSTADA A LA CURVA DE LACTACIÓN	25
6.4.4	COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN MINERAL DURANTE LA PRIMERA Y SEGUNDA LACTACIÓN	27

6.4.5 ESTIMACIÓN DEL APORTE MINERAL EN LA RACIÓN PARA LAS CABRAS EN ESTUDIO .27

7 RESULTADOS.....28

7.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PRIMERA Y SEGUNDA LACTACIÓN DE LAS CABRAS28

7.2 PORCENTAJE DE DISTRIBUCIÓN MINERAL EN LAS FRACCIONES DE LA LECHE32

7.3 ELEMENTOS MINERALES ESENCIALES EN LA LECHE: FRACCIÓN MICELAR32

7.3.1 SODIO32

7.3.2 CALCIO34

7.3.3 MAGNESIO36

7.3.4 ZINC36

7.3.5 SELENIO38

7.3.6 FÓSFORO.....39

7.4 ELEMENTOS MINERALES ESENCIALES EN LA LECHE: FRACCIÓN HIDROSOLUBLE.....42

7.4.1 POTASIO42

7.5 ELEMENTOS MINERALES TÓXICOS EN LA LECHE: FRACCIÓN MICELAR42

7.5.1 ARSÉNICO.....42

7.6 CAMBIOS EN LA CONCENTRACIÓN MINERAL A LO LARGO DE LA LACTACIÓN45

7.7 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN MINERAL DURANTE LA PRIMERA Y SEGUNDA LACTACIÓN.....45

7.8 ESTIMACIÓN DEL APORTE MINERAL EN LA RACIÓN PARA LAS CABRAS EN ESTUDIO ...46

7.9 CONCENTRACIÓN MINERAL EN ALIMENTO Y AGUA DE BEBIDA47

8 DISCUSIÓN.....49

8.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PRIMERA Y SEGUNDA LACTACIÓN DE LAS CABRAS49

8.2 PORCENTAJE DE DISTRIBUCIÓN MINERAL EN LAS FRACCIONES DE LA LECHE51

8.3 CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS MINERALES ESENCIALES EN LA LECHE55

8.4 CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS MINERALES TÓXICOS EN LA LECHE58

8.5 CAMBIOS EN LA CONCENTRACIÓN MINERAL A LO LARGO DE LA LACTANCIA60

8.6 ESTIMACIÓN DEL APORTE MINERAL EN LA RACIÓN PARA LAS CABRAS EN ESTUDIO ...62

8.7 CONCENTRACIÓN MINERAL EN EL ALIMENTO Y AGUA DE BEBIDA64

9 CONCLUSIONES.....66

10 REFERENCIAS.....67

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Principales estados productores de leche de cabra en México_____	3
Cuadro 2. Componentes mayoritarios de la leche de diferentes especies. _____	6
Cuadro 3. Contenido de elementos minerales en leche de diferentes especies____	9
Cuadro 4. Cationes y aniones (mg/l) en leche de vaca completa y sus fracciones soluble y micelar _____	10
Cuadro 5. Funciones, sitios de absorción, excreción, interacciones, signos clínicos de toxicidad y deficiencia de los elementos minerales esenciales. _____	13
Continuación cuadro 5. _____	14
Cuadro 6. Signos clínicos ocasionados por elementos minerales tóxicos _____	15
Cuadro 7. Requerimientos de calcio y fósforo (g/día) para cabras lecheras en diferentes tercios de lactación. _____	17
Cuadro 8. Requerimientos minerales (mg/d) para cabras bajo sistemas intensivos de producción de leche, con base en el periodo de lactación. _____	18
Cuadro 9. Requerimientos minerales (mg/kg) para caprinos en diferentes etapas de crecimiento y producción sugeridos por diversos autores _____	18
Cuadro 10. Composición del concentrado para las cabras en producción _____	20
Cuadro 11. Composición del suplemento mineral comercial _____	21
Cuadro 12. Parámetros \pm E.E. de la función gamma incompleta para la predicción de la curva de lactancia en cabras de primera y segunda lactación _____	29
Cuadro 13. Porcentaje de distribución mineral entre las fracciones micelar e hidrosoluble de leche de cabras de primera y segunda lactación _____	33
Cuadro 14. Coeficientes de correlación lineal de Pearson (r) entre la concentración mineral y los días en lactación _____	45
Cuadro 15. Media \pm E. E. de la concentración mineral (μ g/ml) en la fracción representativa con mayor porcentaje mineral de la leche de hembras de primera y segunda lactación comparadas mediante una t de Student para dos medias independientes _____	46

Cuadro 16. Estimación del aporte mineral (mg) en la dieta para cabras Saanen en producción de leche en este estudio.	47
Cuadro 17. Media \pm D.E. de la concentración mineral en diferentes fuentes de alimento y en agua de bebida proporcionada a las hembras de primera y segunda lactación	48
Cuadro 18. Contenido de macro-minerales en leche de cabra reportados por diferentes autores	56
Cuadro 19. Contenido de micro-minerales en leche de cabra reportados por diferentes autores	57
Cuadro 20. Contenido de selenio en leche de cabra reportado por diferentes autores.	57

LISTADO DE FIGURAS

- Figura 1. Gráficas de dispersión de la producción láctea de cabras de primera (panel A) y segunda lactación (panel B). Los puntos representan los días en que se tomó muestra para las cabras de cada grupo ($n = 10$). La flecha indica el momento de secado de las hembras. _____ 30
- Figura 2. Ajuste de las curvas de primera y segunda lactación (panel A) y parámetros productivos obtenidos mediante la función gamma incompleta (panel B). Las líneas rectas que cortan los ejes x e y indican el día del pico de producción y el rendimiento máximo, respectivamente. La flecha indica el momento de secado de las hembras en lactación. _____ 31
- Figura 3. Gráficas de dispersión y valor promedio de la concentración de sodio ajustada para la producción láctea total durante cada período de muestreo ____ 34
- Figura 4. Gráficas de dispersión y valor promedio de la concentración de calcio ajustada para la producción láctea total durante cada período de muestreo ____ 35
- Figura 5. Gráficas de dispersión y valor promedio de la concentración de magnesio ajustada para la producción láctea total durante cada período de muestreo ____ 37
- Figura 6. Gráficas de dispersión y valor promedio de la concentración de zinc ajustada para la producción láctea total durante cada período de muestreo ____ 38
- Figura 7. Gráficas de dispersión y valor promedio de la concentración de selenio ajustada para la producción láctea total durante cada período de muestreo ____ 40
- Figura 8. Gráficas de dispersión y valor promedio de la concentración de fósforo ajustada para la producción láctea total durante cada período de muestreo ____ 41
- Figura 9. Gráficas de dispersión y valor promedio de la concentración de potasio ajustada para la producción láctea total durante cada período de muestreo ____ 43
- Figura 10. Gráficas de dispersión y valor promedio de la concentración de arsénico ajustada para la producción láctea total durante cada período de muestreo ____ 44

1 INTRODUCCIÓN

El creciente interés del contenido de los elementos minerales en la leche y los productos lácteos, está dado en función de su utilización como un indicador de calidad, aunado al valor de los componentes como la grasa y la proteína; cuyo objetivo final es ofrecer un alimento con riqueza nutricional (Tripathi *et al.*, 1999; Al-Awadi y Srikumar, 2000; Licata *et al.*, 2004).

Aunque la composición mineral en general ha sido muy estudiada, existe muy poca información disponible con respecto a la distribución de sales entre las fases solubles y coloidales de la leche de cabra comparada con la leche de vaca y búfala; por lo que, el estudio de la biodisponibilidad mineral en la leche de cabra permite evaluar la influencia de la composición de ésta, sobre el contenido mineral en los sub productos, teniendo presente que la leche, en México se utiliza principalmente para la elaboración de quesos y dulces (De la fuente *et al.*, 1997; Ducoing, 2011).

Los animales domésticos obtienen la mayoría de los elementos minerales de los concentrados y los forrajes que consumen. Otras fuentes son los complementos minerales de origen animal o de origen geológico y el agua de bebida.

Las concentraciones de los elementos minerales esenciales deben mantenerse dentro de unos límites estrechos para salvaguardar la integridad funcional y estructural de los tejidos y para mantener inalterado el crecimiento, la salud y la productividad del animal. Una ingestión prolongada de una ración deficiente, desequilibrada o excesiva de un mineral puede provocar cambios en la forma y/o concentración de éste en los tejidos y líquidos corporales hasta alcanzar valores por debajo o por encima de los límites permisibles. En tales circunstancias, pueden afectarse los parámetros productivos, que podrían verse alterados de acuerdo con el elemento mineral. La edad, el sexo y la especie, son factores

fisiológicos y genéticos que pueden influir en el grado de deficiencia o toxicidad del animal afectado (Underwood y Suttle, 2003).

Dentro de los elementos minerales esenciales para el ganado se encuentran algunos con propiedades potencialmente tóxicas, tal es el caso del hierro, zinc, selenio y cobre, entre otros (Underwood y Suttle, 2003). Sin embargo, existen otros elementos denominados “metales pesados” los cuales no cumplen una función fisiológica conocida pero se incorporan en la cadena trófica, tal es el caso de algunos como el mercurio, arsénico, plomo, o cadmio. Estos metales son potencialmente tóxicos y bioacumulables en los sistemas de producción de leche y productos lácteos (Li *et al.*, 2005), por lo que cabe destacar la existencia de un riesgo potencial de que los diversos productos de origen animal, provengan de ganado alimentado y localizado en regiones contaminadas, incluyendo a las cabras, por lo que se considera necesario el monitoreo periódico de las concentraciones de los diferentes metales tóxicos en la leche y los alimentos (Jeng *et al.*, 1994; Sedki *et al.*, 2003; Crout *et al.*, 2004).

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Estadísticas pecuarias nacionales*

Para el año 2011 se tiene una cifra preliminar del censo poblacional ganadero para la especie caprina de 9, 004,377 cabezas, siendo el estado de Puebla el que mayor población caprina tiene (1,438,577 cabezas), seguido del estado de Oaxaca con una población de 1,186, 789, y, ubicándose el estado de Guanajuato en el séptimo lugar con una población de 559, 239 cabezas caprinas.

Cuadro 1. Principales estados productores de leche de cabra en México

<i>Estado</i>	<i>Producción de leche (Millones de litros)</i>
Coahuila de Zaragoza	54, 264 000
Durango	31, 702 000
Guanajuato	23, 006 000
Chihuahua	7, 116 000
Jalisco	6, 727 000
Zacatecas	5, 082 000

SIAP. SAGARPA (2012)

Hasta el mes de diciembre del 2011, el estado de Guanajuato tuvo una producción total de 23 millones 6 mil litros, cuando se pronosticaba que la producción total anual sería de 25 millones 456 mil litros. Por otro lado, el comparativo del análisis acumulado al mes de mayo del 2010 con respecto a mayo de 2011, muestra que la producción lechera caprina disminuyó un 18.71%, lo que corresponde a una producción de 12 millones de litros de leche al periodo aproximadamente (SIAP, SAGARPA).

2.2 *¿Qué es la leche?*

Desde el punto de vista fisiológico, la leche es la secreción de las glándulas mamarias de las hembras de los mamíferos, tras el nacimiento de la cría, cuya finalidad básica es la de alimentarla durante un determinado tiempo, siendo su alimento ideal, ya que le aporta los nutrientes que necesita para sobrevivir y crecer (Homan y Watiaux, 2002; Watiaux, 2003).

Desde un punto de vista legal, puede definirse de la siguiente manera: "Leche cruda, sin otra denominación, es el producto fresco del ordeño completo de una o varias cabras sanas, bien alimentadas y en reposo, exento de calostro y que cumpla con las características físicas, microbiológicas e higiénicas establecidas". Estas características pueden ser: densidad, grasa propia, proteínas totales, sólidos totales, punto crioscópico, acidez titulable, prueba de ebullición, prueba de alcohol, sustancias inhibidoras (derivados clorados, sales cuaternarias de amonio, oxidantes, formaldehídos, residuos de antibióticos), cuenta total de bacterias mesofílicas aerobias, cuenta de células somáticas (NOM-184-SSA1-2002; Magariños, 2006; NMX-F-728-COFOCALEC-2007).

La norma mexicana NMX-F-728-COFOCALEC-2007, define que la leche cruda de cabra, es la secreción natural posparto de la glándula mamaria de la cabra después del calostro, sin substracción alguna de sus componentes y sin tratamiento térmico.

La norma oficial mexicana NOM-184-SSA1-2002, define leche como el producto destinado para consumo humano, proveniente de la secreción natural de las glándulas mamarias de especies domésticas.

2.3 Características organolépticas de la leche de cabra

La leche de cabra es más blanca que la de vaca, a causa de no contener carotenos. El sabor y el olor, que le caracterizan se deben en parte a su contenido de ácidos grasos como el cáprico, caproico y caprílico. Igualmente, su contenido en cloro y otros minerales, le confiere un sabor ligeramente salobre (Boza y Sanz Sampelayo, 1997; Haza, 2005).

La leche de cabra tiene un pH de 6.50 a 6.80 debido a su contenido proteínico y a las diferentes combinaciones de sus fosfatos (Saini y Gill, 1991; Park et al., 2007), por lo que esta leche se utiliza en personas con problemas de acidez gástrica (Jandal, 1996).

Su densidad oscila entre 1.028 y 1.039, variación que en su mayor parte la explica el diferente contenido graso presente y sobre la que también interviene su contenido en sólidos no grasos. El punto de congelación de la leche de cabra está entre los -0.540 y los -0.573°C, más bajo que el de vaca (-0.530 a -0.570°C), como consecuencia del mayor contenido en solutos (NMX-F-728-COFOCALEC-2007; Park et al., 2007).

2.4 Composición química de la leche de cabra

La leche tiene una composición dinámica, en la cual se registran variaciones dependiendo del momento y número de lactación, edad, raza, peso, estado nutricional, época del año, balance energético, frecuencia y eficiencia de ordeño y por el estado general de salud del animal, en particular de la ubre (Cashman, 2002; Mullis et al., 2003; Ranjan et al., 2005). Los cambios en la composición de la leche a lo largo del periodo de lactación se producen en respuesta a la necesidad y requerimiento nutricional del neonato, aportando de esta forma las cantidades de componentes energéticos y proteicos, así como elementos inmunológicos específicos y no específicos y factores de crecimiento y desarrollo (Guy y Fenaille, 2006; Mc Manaman et al., 2006; Haug et al., 2007).

La leche es desde el punto de vista químico, un sistema complejo formado por dos fases líquidas físicamente homogéneas: una fase lipídica y una fase acuosa entre las que se reparten los diversos constituyentes. La composición de la leche determina su calidad nutritiva, su valor como materia prima para fabricar productos alimenticios y muchas de sus propiedades. Los principales componentes de la leche son: agua, lípidos, carbohidratos, proteínas, sales y una gran lista de componentes misceláneos, que se encuadran en cuatro categorías: componentes específicos del órgano y de la especie (la mayoría de las proteínas y de los lípidos), componentes específicos del órgano, pero no de la especie (la lactosa), componentes específicos de la especie pero no del órgano (algunas proteínas) y componentes no específicos (agua, sales y vitaminas) (Jenness, 1980).

Cuadro 2. Componentes mayoritarios de la leche de diferentes especies.

Componente	Especie			
	Cabra	Oveja	Vaca	Mujer
Sólidos totales (%)	15.2	16.8	12.4	12.0
Sólidos no grasos (%)	8.9	12.0	9.0	8.9
Agua (%)	86.7	82	87.3	87.1
Proteína (%)	3.4	6.2	3.2	1.2
Caseína (%)	2.4	4.2	2.6	0.4
Albúmina y globulina (%)	0.6	1.0	0.6	0.7
Grasa (%)	3.8	7.9	3.6	4.0
Lactosa (%)	4.1	4.9	4.7	6.9
N no proteico (%)	0.4	0.8	0.2	0.5
Cenizas (%)	0.8	0.9	0.7	0.3
pH	6.50-6.80	6.51-6.85	6.65-6.71	7.0-7.4
Calorías/100 ml	70	105	69	68

Fuente: Jenness (1980), Haza (1995), Boza *et al.* (1997), Park *et al.* (2007)

2.4.1 Lípidos

Los lípidos son los componentes más importantes de la leche en términos de costo, nutrición, características físicas y sensoriales que importan a los productos lácteos. Los triacilglicéridos (TAG) constituyen el grupo más grande (casi el 98%), incluyendo un gran número de ácidos grasos esterificados.

La composición lipídica de la leche de cabra, presenta otros lípidos simples (diacilgliceridos, monoacilgliceridos, ésteres de colesterol), lípidos complejos (fosfolípidos) y compuestos liposolubles (esteroles, colesterol e hidrocarburos) (Park, 2006; Haenlein y Wendorff, 2006).

El porcentaje en grasa de la leche de cabra, suele ser superior al de la vaca, existiendo diferencias en cuanto a la estructura física y perfil químico de la grasa, en comparación con la leche de vaca.

Los lípidos están presentes en forma de glóbulos y una característica de la leche de cabra es el pequeño tamaño de los glóbulos grasos comparados con los glóbulos en la leche de vaca (2 μm en la leche de cabra contra un promedio de 3 a 5 μm en la de vaca). Esta condición se ha asociado con una mejor digestibilidad (Park, 2006).

2.4.2 Proteínas y aminoácidos

La fracción proteínica de la leche se encuentra en la fase acuosa, bien en estado soluble, constituida por diferentes polímeros proteicos hidrófilos (proteínas del lactosuero) o bien en estado coloidal, constituida por partículas sólidas, en suspensión, que difunden la luz y dan un color blanco opaco (micelas de caseína) (Walstra y Jenness, 1984).

El 95% de la caseína de la leche se encuentra agrupada en las micelas de caseína de 50 μm de diámetro, asociada con iones calcio y fosfato (Chacón, 2005).

El rango del contenido de caseína en la leche de cabra es de 16 a 26 g/l (Park et al., 2007)

Como componentes de la proteína láctea existen seis productos genéticos de la glándula mamaria de carácter mayoritario: αS1 -caseína, αS2 -caseína, β -caseína, k-caseína, β -lactoglobulinas y α -lactoalbúminas (Swaisgood, 1992).

Los principales aminoácidos de la leche de cabra son el ácido glutámico, triptófano, leucina, ácido aspártico y lisina (Muñoz, 1984).

2.4.3 Carbohidratos

El carbohidrato mayoritario de la leche de cabra es la lactosa, conteniendo pequeñas cantidades de monosacáridos y oligosacáridos. En cuanto al nivel de su contenido (3.8 a 5.12%), es similar al de la leche de vaca (aproximadamente 0.2 a

0.5% menos que en la leche de vaca) e inferior al existente en la mujer (7.41%) (Chandan et al., 1992).

2.4.4 Vitaminas

La leche de cabra contiene elevados niveles de vitaminas del grupo B, especialmente de riboflavina con respecto a la leche de vaca; sin embargo, el contenido de las concentraciones de vitaminas B6 y B12 son más bajas al igual que de ácido fólico que el de la leche de vaca la cual contiene 0.7 mg/l de B6, 3.5 µg/l de B12 y 50 µg/l de ácido fólico, mientras que la leche de cabra tiene 0.5 mg/l de B6, 0.7 µg/l de B12 y 6 µg/l de ácido fólico (Jauber y Kalantzopoulos, 1996).

2.5 Composición mineral y factores de variación de la leche de cabra.

Los minerales son micronutrientes esenciales para el crecimiento, desarrollo y mantenimiento de la salud. Algunos factores importantes que pueden influenciar el contenido y su aprovechamiento pueden ser el tipo de alimentos consumidos por los animales, la etapa de lactación, la salud de la glándula mamaria, la contaminación ambiental, condiciones climáticas extremas, enfermedades digestivas y respiratorias (Peerbom, 1985; Park y Chukwu, 1988).

El contenido en minerales de la leche de cabra varía entre 0.70 y 0.85%. (Boza y Sanz Sampelayo, 1997).

Güler (2007), menciona que la leche y los sub productos de cabra pueden contribuir considerablemente en el aporte mineral en la dieta del hombre, ya que una ventaja del consumo de estos, es su eficiente biodisponibilidad de macro y microminerales, aunado a que de las especies domésticas la leche de cabra presenta la mayor proporción de minerales en general (Soliman, 2005; Belewu y Adewole, 2009).

Los minerales se pueden clasificar en a) macrominerales, donde se encuentran elementos de reserva en los líquidos corporales o el sistema óseo (calcio, magnesio, potasio, sodio, cloro y fósforo), y b) microminerales, los cuales están subdivididos en cuatro categorías: 1) esenciales, son aquéllos que se requieren en la dieta del hombre y algunas especies de animales (hierro, zinc, cobre, manganeso, molibdeno, cobalto, selenio, yodo, fluoruro); 2) posiblemente esenciales, son aquellos que probablemente sean requeridos en la dieta de algunos animales bajo estricta vigilancia, pero no son considerados necesarios para el hombre (cromo, níquel, silicio, estaño y vanadio); 3) tóxicos, aquéllos que provocan problemas más por su exceso que por su deficiencia bajo condiciones normales de vida en el hombre y los animales (aluminio, arsénico, cadmio, plomo, mercurio), y 4) otros elementos, considerados como contaminantes esporádicos en los animales, los cuales con los avances científicos y los cambios en las técnicas de análisis puedan cambiar de categoría (Casey et al., 1995).

Cuadro 3. Contenido de elementos minerales en leche de diferentes especies

Elemento	Mujer	Cabra	Vaca	Oveja
Calcio (mg/l)	280	1304	1110	2056
Fósforo (mg/l)	140	1080	950	---
Cloro (mg/l)	420	1566	980	---
Sodio (mg/l)	180	480	430	509
Potasio (mg/l)	510	1810	1380	---
Hierro (mg/l)	0.3	0.7	0.4	0.8
Cobre (mg/l)	0.2	0.4	0.1	0.4
Zinc (mg/l)	1.2	4.8	4.2	5.6
Manganeso (mg/l)	0.2	0.1	0.03	---
Magnesio (mg/l)	30	140	100	---
Selenio (µg/l)	15.2	13.3	9.6	---

Fuente: Jenness (1980), Debski *et al.* (1987), Renner, *et al.* (1989), Chandan, *et al.* (1992), Rincón, *et al.* (1994), Boza, *et al.* (1997), Chacón (2005).

2.6 Factores de distribución de los minerales en la leche

La fracción mineral de la leche que representa de 8 a 9 g/l, contiene cationes (calcio, magnesio, sodio y potasio) y aniones (fosfatos inorgánicos, citrato y cloruro). En la leche, estos iones desempeñan un papel importante en la estructura y la estabilidad de las micelas de caseína (Gaucherón, 2005).

En la leche los minerales están asociados entre ellos y con proteínas y, dependiendo del tipo de ion, son difusibles y precipitables (sodio, potasio, cloro) (fracción soluble) y parcialmente asociados con moléculas de caseína (calcio, magnesio, fosfato y citrato) que forman unas grandes partículas coloidales llamadas micelas de caseína (fracción micelar) (López et al., 1998; Gaucherón, 2005). Es por ello que la participación de las sales minerales entre las fracciones coloidal y soluble y el equilibrio entre cationes y aniones influyen en el estado físico y la estabilidad de las proteínas de la leche y, por lo tanto, se ven afectadas la estabilidad térmica y las propiedades físicas de la cuajada durante la elaboración del queso (De la Fuente, 1996).

Existe una amplia variación en la concentración y distribución de algunos elementos en las diversas fracciones y compuestos de la leche. En el Cuadro 4 se muestra la distribución de algunos elementos en leche de vaca, especie donde se tienen la mayoría de los reportes.

Cuadro 4. Cationes y aniones (mg/l) en leche de vaca completa y sus fracciones soluble y micelar

Iones	Calcio	Fósforo	Magnesio	Citrato	Sodio	Potasio	Cloro
Total	1178.4	647.3	123.9	2374.2			
Soluble	368.7	346.9	80.2	2116.2	556.1	1356.4	1070.6
Micelar	809.6	300.4	43.7				

Fuente: Gaucherón (2005).

2.7 Elementos minerales esenciales

Las funciones de los minerales en un organismo son variadas. Estos elementos participan directa o indirectamente en la mayoría de procesos fisiológicos y metabólicos. Algunos son componentes estructurales fundamentales del tejido óseo. Las funciones de los minerales se pueden agrupar en cuatro: estructurales, fisiológicas, catalíticas y reguladoras (Underwood y Suttle, 2003).

Se entiende como función estructural la participación de los minerales en los componentes estructurales de órganos y tejidos, como sucede con el calcio, fósforo, magnesio, hierro y silicio en huesos y dientes. Minerales como zinc y fósforo forman parte de las moléculas y membranas contribuyendo a su estabilidad estructural.

Fisiológicamente, los minerales se presentan como electrolitos en tejidos y fluidos corporales, participando en el mantenimiento de la presión osmótica, del equilibrio ácido-base, de la permeabilidad de membrana y de la irritabilidad tisular (Puls, 1994).

La acción reguladora de los minerales se refiere a su participación en los procesos de replicación y diferenciación celular; calcio por ejemplo, participa en las señales de transducción y el zinc influye en la transcripción.

Existen 14 elementos minerales considerados como esenciales y que, en condiciones prácticas, deben formar parte de la dieta. Esos minerales pueden ser divididos en dos grupos: macrominerales y microminerales, o minerales traza, según las cantidades requeridas por el animal. Los macrominerales incluyen calcio (Ca), fósforo (P), sodio (Na), cloro (Cl), potasio (K), magnesio (Mg) y azufre (S).

Los microminerales son el cobalto (Co), cobre (Cu), yodo (I), hierro (Fe), manganeso (Mn), selenio (Se) y zinc (Zn). Trece elementos son considerados esenciales para ciertos tipos de animales y en determinadas circunstancias:

aluminio (Al), arsénico (As), boro (B), cromo (Cr), flúor (F), litio (Li), molibdeno (Mo), níquel (Ni), rubidio (Rb), y vanadio (V) (Underwood y Suttle, 2003).

En el cuadro 5, se muestra un resumen de las funciones, metabolismo, deficiencias y toxicidades de los elementos minerales esenciales que se estudiaron en este trabajo.

2.8 Elementos minerales tóxicos

El término de “metal pesado” se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una alta densidad relativa y sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas.

De manera general se podrían englobar en esta definición a todos aquellos metales con una densidad superior a 4 g/cm³ y una masa y peso atómico elevados.

Los elementos minerales tóxicos pueden entrar al organismo del humano y al de los animales dependiendo de su biodisponibilidad y/o de la vía de entrada expuesta. Algunos ejemplos de ello pueden ser la inhalación o la ingestión de agua y alimentos, lo cual se relaciona con hábitos y recursos alimenticios de los individuos, el tipo de alimentos consumidos, el grado de contaminación ambiental, los procesos patológicos en cualquier órgano o tejido, principalmente en el aparato respiratorio y digestivo y las condiciones climáticas extremas (Alberti-Fidanza et al., 2003; Chen et al., 2003; Prankel et al., 2004).

En el Cuadro 6 se mencionan algunos signos clínicos ocasionados por los elementos minerales tóxicos que se estudiaron en esta investigación y que tienen repercusión tanto en la salud animal como en la pública.

Cuadro 5. Funciones, sitios de absorción, excreción, interacciones, signos clínicos de toxicidad y deficiencia de los elementos minerales esenciales.

<i>Mineral</i>	<i>Función Principal</i>	<i>Absorción</i>	<i>Excreción</i>	<i>Interacciones</i>	<i>Toxicidad</i>	<i>Deficiencia</i>
Sodio (Na)	Mayor catión del fluido extracelular. Regulador de la presión osmótica y el equilibrio ácido base. Participa en el mantenimiento del tono muscular y en la permeabilidad celular.	Intestino delgado y rumen.	Orina, en forma de sales, también en las heces y la leche.		Toxicidad por sal, que se acentúa cuando se presenta restricción de agua.	Pica, polidipsia, disminución del apetito y producción láctea, pérdida de peso..
Potasio (K)	Mayor catión del fluido intracelular. Regulador de la presión osmótica y el equilibrio ácido-básico. Actividad muscular y permeabilidad celular. Requerido en la reacciones enzimáticas. Influencia el metabolismo de los carbohidratos.	Intestino grueso y rumen.	Principalmente, orina, cerca de 13% son pérdidas fecales y 12% en la leche.	Niveles excesivos de K intervienen en la absorción de Mg Deficiencia en Mg reduce la retención de K, llevando a posibles deficiencias. Hipercalcemia.	Alteración del equilibrio ácido-base, hipercalcemia y paro cardíaco.	Disminución del apetito y del crecimiento. Debilidad muscular y parálisis. Reducción en la producción láctea y ganancia de peso.
Calcio (Ca)	Formación de huesos y dientes. Contracción muscular. Coagulación y permeabilidad celular Esencial para la producción de leche	Duodeno por absorción pasiva (difusión) y activa.	Heces.	La vitamina D participa del proceso de absorción. Excesos de P y Mg disminuyen la absorción. Relación Ca:P no debe ser menor de 1:1 ni mayor de 7:1.	Calcificación y daño en tejido vivo, como consecuencia secundaria de una deficiencia de fósforo o de una sobre exposición a vitamina D3	Retraso en el crecimiento, retención placentaria, fiebre de leche, distocias, disminución en la producción de leche, raquitismo
Magnesio (Mg)	Desarrollo esquelético. Constituyentes de huesos. Activador enzimático	Tracto digestivo, principalmente retículo-rumen.	Orina, heces, y leche, siendo orina la vía principal.	Excesos afectan el metabolismo de Ca y P.	Diarrea severa, somnolencia y urolitiasis	Tremor muscular, vértigo, ataxia, nistagmus, excitabilidad, convulsiones, taquicardia, coma y muerte.
Hierro (Fe)	Forma parte de la hemoglobina para transporte de oxígeno. Componente de proteínas y enzimas	A través del tracto gastrointestinal (duodeno y yeyuno).	Heces y orina.	El Cu se requiere para el normal metabolismo de Fe. Exceso de Fe puede interferir con P, Cu, y Se.	Intoxicación sobreaguda: Muerte súbita. Intoxicación subaguda: Letargia, vómito, colapso vascular y muerte	Anemia hipocrómica microcítica, Anorexia, retraso del crecimiento, letargia, mucosas pálidas, taquipnea.

Continuación cuadro 5.

Mineral	Función Principal	Absorción	Excreción	Interacciones	Toxicidad	Deficiencia
Cobre (Cu)	Cofactor en varios sistemas enzimáticos de oxidación. Síntesis de hemoglobina. Formación de hueso; mantenimiento de la mielina en los nervios y síntesis de la melanina..	Principalmente en el intestino delgado, en rumiantes solamente 1 a 3% de Cu es absorbido.	Heces, principal ruta.	Absorción afectada por la presencia de antagonistas (Mo, S, Fe, Cd, Zn). Interactúa metabólicamente con Mo, Zn, Cd, esteroides.	Cuadro agudo. Gastroenteritis severa. Descenso en la temperatura corporal. Taquicardia y muerte. Cuadro crónico. Anorexia, estado nervioso alterado, rumen estático.	Anemia hipocrómica, disminución en el crecimiento, diarrea, cambios de coloración del pelo, ataxia neonatal, alteración del crecimiento de los huesos largos, debilidad, fragilidad, infertilidad, e insuficiencia cardiaca.
Zinc (Zn)	Cofactor de varios sistemas enzimáticos. Necesario en la formación ósea, síntesis de proteína y metabolismo en general.	Rumen e intestino delgado.	Heces y pequeñas cantidades en orina.	Elevadas cantidades de Zn en la dieta acentúan la deficiencia de Fe y Cu.	Alteraciones en el metabolismo ruminal, diarrea, disminución en la producción láctea, hipocalcemias puerperales, infertilidad, anestro, bajo consumo de alimento	Anorexia, retraso en el crecimiento, alteraciones en los tegumentos, pelo, lana, y disminución de la conversión alimenticia
Selenio (Se)	Necesario para el crecimiento y fertilidad. Contribuye al mecanismo de defensa celular	Intestino delgado y Ciego	Orina, heces y respiración.	Prevención de diversas enfermedades relacionadas con vitamina E.	Intoxicación aguda. Ataxia, fiebre, dificultad respiratoria, diarrea oscura, postración, letargo y falla respiratoria. Intoxicación crónica. Debilidad, crecimiento anormal en faneras, caída de pelo, cirrosis hepática, nefritis	Degeneración muscular, crecimiento pobre, fallas reproductivas. Enfermedad del músculo blanco.
Fósforo (P)	Formación de huesos y dientes. Principal radical anión. Fosfato del fluido intracelular. Constituyente de la saliva como fosfatos que participan en la regulación del pH ruminal.	Duodeno, por absorción pasiva y activa.	Heces y orina.	Excesos de Ca y Mg pueden afectar su absorción. La relación Ca:P debe no ser menor de 1:1 ni mayor de 7:1.	Cálculos renales de fosfato	Anomalías en huesos y dientes. Descenso del apetito, crecimiento y rendimiento lechero. Pica o apetito depravado. Alteración en la fertilidad.

Fuente: McDowell (1997), Puls (1994), Underwood *et al* (2003), Patiño (2011).

Cuadro 6. Signos clínicos ocasionados por elementos minerales tóxicos

<i>Mineral</i>	<i>Signos clínicos de toxicidad</i>
Níquel (Ni)	Hemorragias bronquiales, náuseas, diarrea, debilidad muscular, vértigos.
Cadmio (Cd)	Intoxicación crónica. Anemia, disfunción renal, osteoporosis, osteomalacia, problemas respiratorios, hipertensión, paresia, contracciones musculares involuntarias, anorexia. Intoxicación aguda. Neumonitis, edema pulmonar, gastroenteritis, vómito y diarrea.
Arsénico (As)	Gastroenteritis, anorexia, taquipnea, sialorrea, trismo, parestesia, atonía ruminal, acidosis, fiebre, vómito, deshidratación y choque.

Fuente: Osweiler (1996), Monies (1999), Radostits *et al.* (2000), Neiger *et al.* (2004), Faires (2004).

2.9 Curva de lactación.

Según Wood (1980), el conocimiento de la curva de lactación es necesario para determinar el manejo nutricional y reproductivo de animales en lactación, mediante la estimación de la producción total por lactación. Además, la curva de lactancia es la representación matemática de la respuesta fisiológica de la producción de leche durante todo el período de ordeño (León et al., 2012).

El análisis de la curva de lactación por medio del análisis de la función gamma incompleta, permite tener una evaluación total de la producción de leche incluyendo el pico de producción, el rendimiento máximo y la persistencia de la lactancia, la cual se refiere a la tasa de disminución en el rendimiento de leche después de alcanzar el pico de producción o lo que se mantiene el pico de producción (Wood, 1967).

El patrón de producción de leche a través de la lactación en diferentes especies se caracteriza generalmente por dos diferentes fases, la fase ascendente, desde el parto hasta el pico producción, y la fase descendente, a partir del pico máximo de producción hasta el secado, con la pendiente durante esta fase en representación de la persistencia de la lactancia (León et al., 2012).

León et al. (2012) comenta que los principales factores que pueden influenciar los niveles productivos de un rebaño caprino lechero y por tanto, el comportamiento de su curva de lactación pueden resumirse en: la raza, época de parto, edad de la cabra, número de crías por parto, ambiente y estado nutricional.

2.10 Complementación mineral y su importancia

A pesar de representar sólo del 4 al 5% de los pesos corporales de los animales, los minerales son de vital importancia en diversos tejidos, para los procesos metabólicos, el mantenimiento de la presión osmótica, el equilibrio ácido-base y la permeabilidad celular.

Éstos también son componentes clave en la formación de hormonas, enzimas, tejidos y huesos (Underwood y Suttle, 1999).

Interacciones entre los minerales en el organismo pueden dar lugar a aumentos o disminuciones en su disponibilidad, que dificultan el mantenimiento de los requerimientos dietéticos de los animales y puede resultar en trastornos metabólicos (NRC, 2007).

Así, la comprensión de las demandas nutricionales de los macro minerales resulta importante para un diseño racional de los sistemas de producción animal con el fin de proporcionar una dieta equilibrada que, precisamente, atienda las necesidades de los animales.

Durante muchos años, los requerimientos minerales de las cabras han sido considerados como un intermedio entre los de ganado vacuno y ovino (Meschy, 2000), y la mayoría de los sistemas de alimentación han recomendado que los valores de consumo mineral se extrapolen de la dieta de estas dos especies (NRC, 1981; AFRC, 1998).

Los requerimientos minerales específicos para la especie caprina, no han sido exhaustivamente evaluados, por lo que algunas de las recomendaciones utilizadas no son las ideales (Gómes et al., 2011), es por ello que se deben conocer los perfiles minerales de los forrajes consumidos por las cabras de diferentes regiones, y de los suplementos minerales, para así ofrecer un diseño específico para satisfacer los requisitos, y optimizar la productividad y la salud (Cinq-Mars, 2001).

En el Cuadro 7, se presentan los requerimientos de calcio y fósforo para los animales de este estudio, con base en las tablas del NRC (1981; 2007) y los parámetros como estabulación total, producción láctea y grasa de la leche; mientras que en el Cuadro 8 se observa los requerimientos de elementos minerales para cabras bajo sistemas intensivos de producción de leche, con base en el periodo de lactación (NRC, 2007).

Finalmente, en el Cuadro 9 se muestran los requerimientos minerales para caprinos en diferentes etapas de crecimiento y producción sugeridos por diversos autores.

Cuadro 7. Requerimientos de calcio y fósforo (g/día) para cabras lecheras en diferentes tercios de lactación.

Cabras	Periodo de lactación (tercio)	NRC (1981)		NRC (2007)	
		Calcio (Ca)	Fósforo (P)	Calcio (Ca)	Fósforo (P)
Primera lactación	1er	8.56	5.99	16.1	9.4
	2do	8.36	5.85	16.7	9.9
	3er	10.86	5.76	20.4	12.1
Segunda lactación	1er	15.36	10.75	16.5	9.8
	2do	9.52	7.74	17.1	10.3
	3er	10.26	7.182	20.9	12.6

Cuadro 8. Requerimientos minerales (mg/d) para cabras bajo sistemas intensivos de producción de leche, con base en el periodo de lactación.

Grupo de cabras Etapa (lactación)	1ª lactación (50 Kg P.V. promedio)		2ª lactación (60 Kg P.V. promedio)	
	Inicial ^a	Final ^b	Inicial ^a	Final ^b
Sodio (Na)	3,260	1,930	3,700	2,230
Cloro (Cl)	7,770	4,110	8,720	4,680
Potasio (K)	21,200	14,400	23,800	16,300
Magnesio (Mg)	4,130	2,400	4,650	2,740
Azufre (S)	7,300	6,700	8,200	7,300
Cobalto (Co)	0.31	0.27	0.35	0.31
Cobre (Cu)	42	37	47	42
Yodo (I)	2.25	1.98	2.51	2.23
Hierro (Fe)	54	48	60	53
Manganeso (Mn)	42	32	48	37
Selenio (Se)	0.91	0.59	0.99	0.64
Zinc (Zn)	171	99	191	111

^a. 4.65-6.43 Kg de leche/día; ^b. 1.99-2.76 Kg de leche/día

Fuente: NRC (2007).

Cuadro 9. Requerimientos minerales (mg/kg) para caprinos en diferentes etapas de crecimiento y producción sugeridos por diversos autores

Elemento	Cinq-Mars 2001 ^{a*}	Meschy, 2000 ^{b*}	Farzana, 2005 ^{c*}	Hart, 2004 ^{c**}	Haenlein y Anke, 2011 ^{b*}
Calcio				3000-8000	3300
Fósforo				250-400	4000
Magnesio	4000			1800-4000	1000
Potasio	30000			8000-20000	
Sodio				2000	
Cobalto	10	0.1	0.1	0.1-10.0	
Cobre	100	8.0-10.0	10	10-80	8.0
Hierro	1000		30	50-1000	50.0
Manganeso	1000	40-50	60	0.1-3	60.0
Molibdeno	5	0.1	0.2	0.1-3	0.53
Níquel	50		1.0		4.4
Selenio	2	0.1	0.1	0.1-3	0.56
Zinc	500	50	45	40-500	99.0
Arsénico	50-100				0.35
Cadmio	0.5				0.30

^aNivel máximo tolerable; ^bNivel recomendado; ^cNivel estándar; *cantidad por Kg de materia seca consumida; **cantidad por día

3 JUSTIFICACIÓN

Dado que existe poca información sobre las concentraciones de los elementos minerales esenciales y elementos minerales tóxicos en las fracciones de la leche de cabra (micelar e hidrosoluble) de diferentes lactaciones, es de suma importancia conocer e investigar sobre los niveles de estos como una contribución al conocimiento y poder utilizar esta información para disponer de una leche con buenos niveles de elementos minerales que permitan un mejor procesamiento de esta para la elaboración de subproductos.

4 HIPÓTESIS

El contenido de elementos minerales en las fracciones micelar e hidrosoluble de la leche varía durante la primera y segunda lactación en cabras Saanen.

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Evaluar la variación del contenido de elementos minerales en las fracciones micelar e hidrosoluble de la leche durante la primera y segunda lactación de cabras Saanen.

5.2 Objetivos Particulares

5.2.1 Determinar el comportamiento de la curva de lactación de las cabras Saanen con respecto a la concentración mineral.

5.2.2 Determinar la distribución de los elementos minerales esenciales (sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, zinc, selenio y fósforo) así como los elementos minerales tóxicos (níquel, cadmio y arsénico) en la porción micelar e hidrosoluble en leche de cabras de primera y segunda lactación.

6 MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 Lugar de estudio

El estudio se realizó en la unidad de producción lechera caprina “Puente Colorado”, la cual forma parte de la Asociación de Caprinocultores Unidos de Guanajuato, A.C., dicha producción se localiza en el municipio de Apaseo el Grande, Guanajuato, México. La localidad se sitúa a 1767 msnm, cuenta con un clima templado-seco y posee una extensión territorial de 415.2 km², lo que representa el 1.37% de la superficie total del estado.

El sistema de producción de leche es de tipo tecnificado-intensivo, cuenta con un ordeño mecánico y se utilizan buenas prácticas de manejo. La unidad lleva registros individuales de producción, así como parámetros reproductivos.

Con respecto a la alimentación, la dieta de los animales está compuesta por una inclusión de forrajes del 84% equivalente a 4 kg por animal por día de ensilado de maíz y heno de alfalfa y un 16% de concentrado equivalente a 0.75 kg por cabra al día.

Cuadro 10. Composición del concentrado para las cabras en producción

<i>Ingrediente</i>	<i>Inclusión (kg)</i>
Cebada molida	60
Maíz rolado	190
Sorgo molido	130
Salvado de trigo	65
Maíz molido	70
Cascarilla de soya	110
Grasa de sobrepaso palma	20
Semilla de algodón	60
Pasta de soya	90
Grano seco	80
Suplemento mineral comercial	5
Melaza	60
Gluten de maíz	30
Harina de pescado	30
Total	1000

Cuadro 11. Composición del suplemento mineral comercial

<i>Análisis garantizado</i>	
<i>Ingrediente</i>	<i>Concentración</i>
Calcio (Ca), (%Min)	11.0
Calcio (Ca), (%Max)	13.0
Fósforo (P), (%Min)	6.0
Sal (NaCl), (%Min)	22.0
Sal (NaCl), (%Max)	25.0
Magnesio (Mg), (%Min)	2.0
Potasio (K), (%Min)	0.1
Zinc (Zn), ppm, (Min)	4,375
Manganeso (Mn), ppm, (Min)	2,500
Cobre (Cu), ppm, (Min)	1,300
Iodo (I), ppm, (Min)	130.0
Selenio (Se), ppm, (Min)	22.0
Vitamin A, I.U./lb, (Min)	150,000
Vitamin D3, I.U./lb, (Min)	12,000
Vitamin E, I.U./lb, (Min)	60.0

PRO PHOS 6 MINERALS®

6.2 Programa de muestreo

Los criterios generales aplicados para los animales del estudio fueron:

- Animales clínicamente sanos
- Cabras de primera lactación
- Cabras de segunda lactación

Se trabajó con 20 cabras de la raza Saanen; 10 animales de primera y 10 de segunda lactación.

El muestreo tuvo inicio en marzo de 2011 y concluyó en septiembre del 2011, teniendo un total de 7 muestreos mensuales para las cabras de primera lactación, mientras que para los animales de segunda lactación, el muestreo concluyó en

noviembre del 2011 teniendo un total de 9 muestreos mensuales por tener una lactación más prolongada. Solamente se consideró el ordeño de la tarde (3 pm).

A los animales seleccionados se les tomó una muestra de leche (30 ml) directamente de la ubre las cuales fueron depositadas en tubos de centrífuga de 50 ml, estériles, los cuales se identificaron, transportaron en refrigeración y se enviaron al Laboratorio de Toxicología del departamento de Nutrición Animal y Bioquímica, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, donde se mantuvieron en congelación (-20°C) hasta el momento de su análisis.

Se tomó una muestra mensual de la ración de los animales en producción (30 g) así como 50 ml de agua de bebida en frascos de polipropileno estériles, los cuales también fueron enviados al mismo laboratorio para su análisis.

6.3 *Análisis de laboratorio*

Se analizó el contenido de los elementos minerales en las fracciones micelar e hidrosoluble de las muestras mensuales de leche de cada cabra, además del contenido de los minerales presentes en la ración y en el agua de bebida.

Para la obtención de la concentración mineral de la leche, las muestras fueron previamente descongeladas por medio de inmersión en agua a una temperatura de 35°C; y ya descongeladas se homogenizaron para realizar los procedimientos correspondientes.

Ya homogenizadas la muestras se tomaron 2 ml de leche entera, los cuales se depositaron en tubos de ensaye de 15 ml con peso conocido, se añadieron 8 ml de metanol HPLC (relación 1:4) y se homogenizaron para posteriormente centrifugarse a 3500 rpm por 15 minutos para la adecuada precipitación de las proteínas. Una vez centrifugadas las muestras, el sobrenadante se pasó a otro tubo siendo éste la porción hidrosoluble. El botón que quedó en la base del tubo

de cada muestra se metió a la estufa a una temperatura de 30°C por 24 horas para desecarlo. Ya desecado el botón se pesó en el mismo tubo y por diferencia se obtuvo el peso exacto de la micela. (Hernández, 2011; Jaramillo, 2012).

Posteriormente estos botones se sometieron a una digestión ácida, donde a cada tubo de ensaye con su respectivo botón, se le añadió 2 ml de ácido nítrico (Baker® ACS) y se calentaron hasta realizar una ebullición lenta y lograr la evaporación hasta tener el volumen menor posible sin que se llevara a cabo la precipitación.

Se continuó agregando ácido nítrico (Baker® ACS), según fue necesario hasta lograr la digestión completa, la cual se observó cuando la solución se tornó de un color claro transparente. Posteriormente, las muestras se dejaron enfriar y se aforaron a 16 ml con agua desmineralizada. Todas las muestras fueron filtradas por medio de papel filtro (Whatman® No1.) y embudo.

Las condiciones de análisis para cada elemento son las señaladas en el manual de operación del fabricante del equipo de espectrómetro de absorción y emisión atómica Perkin Elmer Analyst 100®.

Los elementos minerales esenciales que se analizaron fueron: sodio y potasio, los cuales fueron por medio de emisión atómica; calcio, magnesio, hierro y zinc por absorción atómica con flama, selenio con generador de hidruros y fósforo por colorimetría; mientras que de los elementos minerales tóxicos cadmio y níquel se analizaron por espectrometría de absorción atómica con flama y arsénico por medio de generador de hidruros.

Las muestras del alimento, fueron analizados en el mismo laboratorio, utilizando un gramo, que se dejó secar y se trituró en partículas de tamaño de 1 mm. Posteriormente, estas muestras fueron carbonizadas hasta obtener cenizas por medio de una mufla a 450°C durante 5 horas.

Se re suspendieron con ácido clorhídrico y se aforaron a 25 ml con agua destilada para su posterior análisis mineral.

Para la determinación mineral en el agua de bebida, no fue necesario digerir las muestras ya que no contenían materia orgánica, por lo que la medición de los minerales en el agua se llevó a cabo en forma directa.

6.4 Análisis Estadístico

6.4.1 Ajuste de las curvas de lactación

Para la predicción de la curva de lactación para cada tipo de parto se utilizaron los registros de la producción láctea tomados a diferentes intervalos dentro de cada grupo (n = 10). Los datos se ajustaron con la ecuación gamma incompleta propuesta por Wood, (1967):

$$Y_t = at^b e^{-ct}$$

donde:

Y_t = Producción de leche en el t-ésimo día de lactación

t = t-ésimo día de lactación

e = base de los logaritmos naturales

a , b y c son los parámetros que definen las curvas de lactación a estimar:

a = Producción al inicio de la lactación

b = Tasa de crecimiento de la producción láctea, desde el inicio hasta el pico de lactación

c = Tasa de disminución de la producción láctea desde el pico de lactación hasta el final de la misma

Para obtener los estimadores de los parámetros de la función, se utilizó el procedimiento GLM de SAS 9.0. Con los estimadores del modelo, se calcularon: 1) el día en que ocurrió el pico de producción (T_{max}), con la expresión $b/(-1*c)$; 2) el rendimiento máximo de leche al pico (Y_{max}), con la expresión $a[b/(-1*c)]b*(1/b)$; y 3) la persistencia (s), con la expresión $(b+1)*ln(-1*c)+ln(b+1)$.

6.4.2 Distribución de los minerales en las fracciones micelar e hidrosoluble de la leche

Para determinar el porcentaje de distribución de los minerales en las fracciones de la leche, se sumó la concentración total de cada mineral que se obtuvo en las determinaciones de ambas porciones. A partir de este valor, se calculó la proporción del mineral contenida en la porción micelar o hidrosoluble. Los resultados se expresan en porcentajes y corresponden a la cantidad total del mineral que se cuantificó en la leche de las 10 cabras de primera y segunda lactación.

6.4.3 Análisis de la concentración mineral ajustada a la curva de lactación

Con los resultados del porcentaje de distribución de los minerales en las fracciones de la leche, se determinaron los cambios de la concentración de cada mineral tomando en cuenta la curva de lactación. Para ello se obtuvo una aproximación de la concentración de cada mineral contenido en la producción de leche a lo largo de la lactación; para cada hembra, la concentración mineral obtenida en una muestra (μg o ng/ml de leche) se multiplicó por la leche producida (l/día). Con estos datos, se obtuvieron los promedios de la concentración mineral ajustada por la leche producida para cada grupo a lo largo de los períodos de muestreo.

Estos resultados probablemente reflejan de manera más eficiente los cambios de los minerales a lo largo de la lactación ya que expresan la concentración de un mineral (g) contenido en la producción láctea (l) por cada período de muestreo (d). Además, debido a que los animales se muestrearon a lo largo de la lactación, los

cambios de la concentración mineral ajustada se compararon de forma cualitativa con la predicción de la curva de lactación para determinar si los minerales seguían un patrón de cambio similar al de la producción láctea.

Tomando en cuenta lo anterior, la información original fue editada para garantizar la calidad de los datos a ser analizados. Esto implicó que los muestreos que no contaron con pesaje de leche fueron descartados. De esta forma se trabajó con 5 muestreos mensuales de cabras de primera lactación y 6 muestreos mensuales de cabras de segunda lactación.

El análisis estadístico inició con las pruebas de distribución normal (Kolmogorov-Smirnov) y de homogeneidad de varianzas (Bartlett) aplicadas a la producción de leche y la concentración mineral en las fracciones de la leche. Ambas pruebas se incluyen en el paquete estadístico Prism 5.03. Los resultados de las pruebas sugirieron que los datos se obtuvieron de una distribución normal (tipo Gaussiana) y que además presentaron homocedasticidad, por lo cual cumplieron los supuestos para realizar análisis paramétricos.

La concentración promedio de cada mineral a lo largo de los días de muestreo se comparó mediante un análisis de varianza de una vía (ANDEVA), seguida de la prueba de comparación múltiple de Bonferroni. La variable de respuesta fue la concentración mineral ajustada con la producción láctea durante los períodos de muestreo correspondientes a los meses de lactación. Los contrastes se realizaron para cada muestreo comparando contra el muestreo más cercano al pico de lactancia obtenido a partir del ajuste de la curva de lactación, en donde en teoría se esperaba encontrar la concentración máxima de los minerales. Para las cabras de primera lactación, se utilizó el segundo período de muestreo correspondiente a 51.6 ± 8.3 días, mientras que para las hembras de segunda lactación se utilizó el primer período de muestreo que se presentó a los 57.4 ± 8.3 días.

6.4.4 Comparación de la concentración mineral durante la primera y segunda lactación

La concentración de cada mineral a lo largo de toda la lactación se realizó a partir de los períodos de muestreo. De la suma de todos los muestreos se obtuvo el promedio de la concentración mineral en la leche de cada grupo, ambos valores se compararon mediante la prueba t de Student para dos medias independientes.

6.4.5 Estimación del aporte mineral en la ración para las cabras en estudio

Una vez conocida la concentración de los elementos minerales en los diferentes componentes de la dieta de las cabras (alfalfa, ensilado, concentrado y agua), se estimó la aportación proporcional de cada uno de ellos y este resultado se comparó con los requerimientos nutricionales diarios de los elementos minerales para las cabras de primera y segunda lactación, con base en su peso vivo y nivel de producción.

Las figuras y el análisis estadístico se realizaron con el programa estadístico Prism 5.03. En todos los casos se presentan los valores promedio \pm error estándar de la media y se consideró un nivel de $p < 0.05$ como significativo. A excepción del Cuadro 16 que se presenta con desviación estándar debido a que sólo se realizó una medición mensual.

7 RESULTADOS

Para reflejar los cambios en la concentración de los elementos minerales esenciales y elementos minerales tóxicos a lo largo de la primera y segunda lactación se utilizaron como referencia la predicción de las curvas de lactancia de ambos grupos de cabras. Lo anterior debido a que se encontró que los cambios en la producción láctea mostraron modificaciones en la concentración mineral de la leche. Así, al conocer el patrón de cambio y la dinámica que ésta siguió, fue posible, de igual forma, evaluar los cambios concomitantes que ocurren en los elementos minerales esenciales y elementos minerales tóxicos de la leche. Por tal razón, los resultados inician con la descripción de la lactación.

7.1 Características de la primera y segunda lactación de las cabras

En la Figura 1, se presenta la producción diaria de leche a lo largo de la primera (panel A) y segunda lactación (panel B). Para la primera lactación únicamente se contó con los registros de producción hasta los 175 días, sin embargo, el secado de los animales se presentó a los 223 días. En contraste, la segunda lactación fue más prolongada, ya que se obtuvieron registros hasta los 279 días; fecha que coincidió con el secado de los animales.

El resumen del análisis cuantitativo de la producción láctea mediante su ajuste con la función gamma incompleta se presenta en el Cuadro 12. La producción inicial de las cabras de primera lactación fue de 0.53, mientras que para los animales de segunda lactación fue de 1.47. La tasa de incremento para los animales de primera lactación desde el inicio de la lactancia hasta el pico máximo de producción, fue de 0.521, mientras que para el otro grupo de animales fue de 0.32. Finalmente, las tasas de disminución de las dos lactaciones presentaron valores similares. Sin embargo, en la segunda lactación el valor bajo de dicho parámetro es indicativo de una producción más sostenida, tal como se observó en el presente trabajo.

El ajuste de la producción láctea se presenta en la Figura 2. En ambos grupos la forma fue similar, aunque con mayor amplitud para los animales de segunda lactación (panel A), indicando con ello un incremento en la producción. Asimismo, los parámetros productivos obtenidos del ajuste sugieren una mayor eficiencia del grupo de segunda lactación, ya que obtuvieron mayor rendimiento máximo y alcanzaron antes el pico de lactancia (panel B). Además, se aprecia que las pendientes del incremento son pronunciadas, indicando con ello un rápido incremento hasta el pico de producción. Por el contrario, las pendientes de disminución fueron menos pronunciadas, por tal razón ambas curvas presentan una elevada persistencia ($\approx 92\%$) de la producción con respecto al pico de lactación. Sin embargo, éste último resultado no se comprobó para las cabras de primera lactación debido a que dichos animales se secaron antes que las hembras de segunda lactación.

Cuadro 12. Parámetros \pm E.E. de la función gamma incompleta para la predicción de la curva de lactancia en cabras de primera y segunda lactación

<i>Parámetro</i>	<i>Lactación</i>	
	<i>Primera</i>	<i>Segunda</i>
a (producción láctea inicial)	0.53 \pm 0.31	1.47 \pm 0.31
b (tasa de incremento)	0.521 \pm 0.10	0.32 \pm 0.09
c (tasa de disminución)	-0.0069 \pm 0.0014	-0.005 \pm 0.001

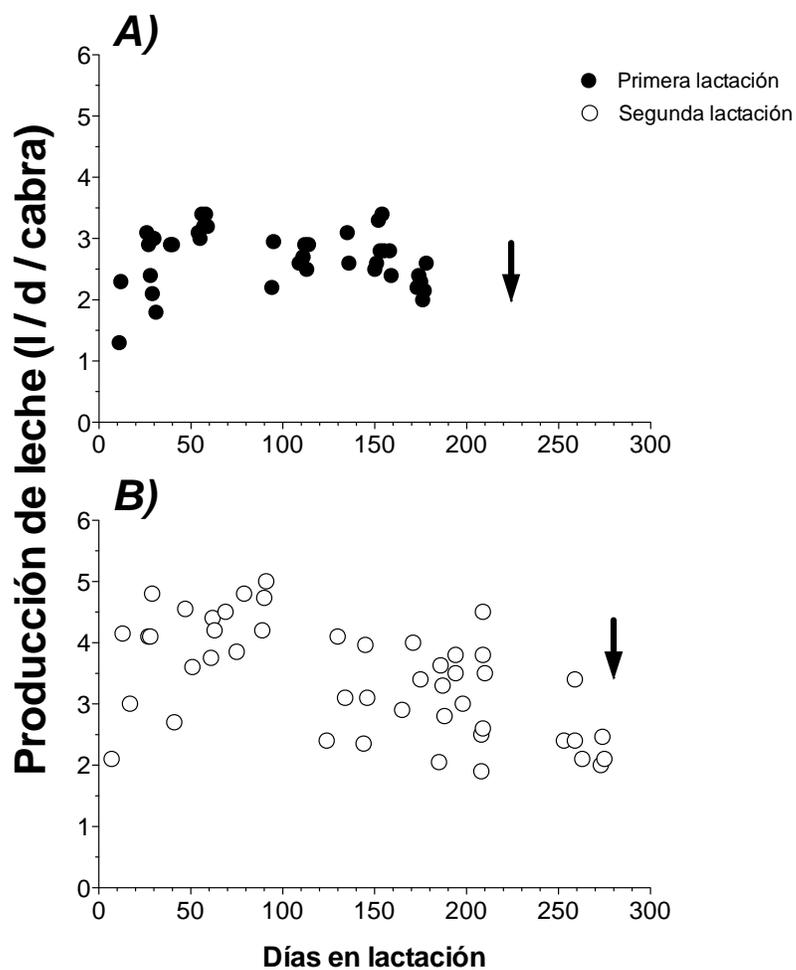
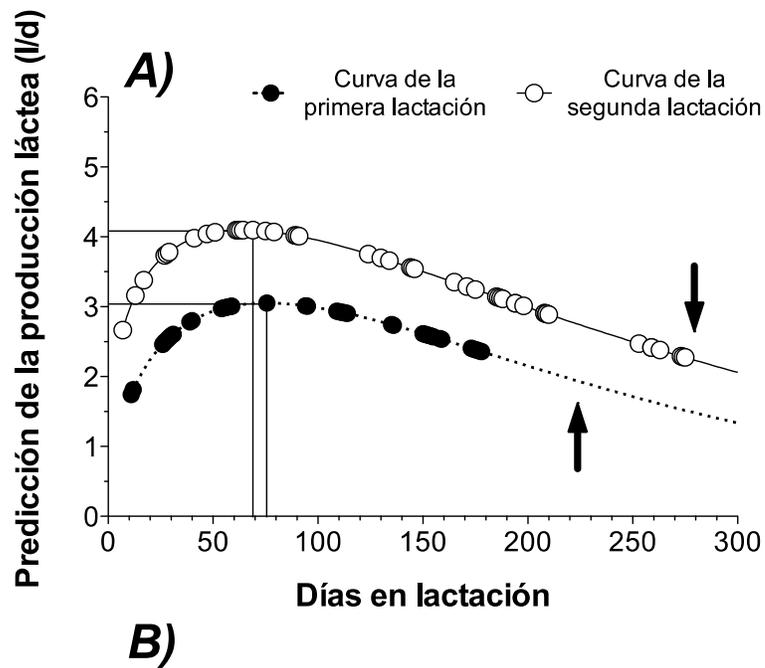


Figura 1. Gráficas de dispersión de la producción láctea de cabras de primera (panel A) y segunda lactación (panel B). Los puntos representan los días en que se tomó muestra para las cabras de cada grupo (n =10). La flecha indica el momento de secado de las hembras.



Parámetro productivo	Lactación	
	Primera	Segunda
Pico de producción (d)	75.7	64.3
Rendimiento máximo (l)	3.05	4.09
Persistencia (%)	7.9	7.2

Figura 2. Ajuste de las curvas de primera y segunda lactación (panel A) y parámetros productivos obtenidos mediante la función gamma incompleta (panel B). Las líneas rectas que cortan los ejes x e y indican el día del pico de producción y el rendimiento máximo, respectivamente. La flecha indica el momento de secado de las hembras en lactación.

7.2 Porcentaje de distribución mineral en las fracciones de la leche

Para analizar la concentración de los elementos minerales esenciales y elementos minerales tóxicos en la leche de las cabras de primera y segunda lactación, se obtuvo el porcentaje de distribución de cada mineral en la fracción micelar e hidrosoluble de la leche. Para ambos grupos, el potasio se presentó en mayor proporción en la fracción hidrosoluble, mientras que el hierro y el cobre no se detectaron en ninguna fracción. El resto de los elementos minerales esenciales se distribuyeron principalmente en la fracción micelar. Con respecto a los elementos minerales tóxicos, únicamente se detectó arsénico, el cual se distribuyó totalmente en la fracción micelar (Cuadro 13).

A partir de la distribución de los elementos minerales esenciales y los elementos minerales tóxicos en cada fracción de la leche, se analizó la dinámica de cambio de la concentración mineral en la leche, considerando para ello la predicción de la curva de lactación. Además, para evaluar adecuadamente el contenido mineral, se utilizó la porción de la leche que concentró la mayor cantidad de cada mineral durante la primera y segunda lactación.

7.3 Elementos minerales esenciales en la leche: fracción micelar

7.3.1 Sodio

En la Figura 3A se muestran los cambios en la concentración de sodio ($\mu\text{g/ml}$) medido durante la primera lactación (panel superior), en donde se observó un aumento en la concentración después de los 100 días. A diferencia del grupo de segunda lactación (panel inferior) en donde se registraron concentraciones más bajas y consistentes a lo largo de los muestreos; coeficiente de variación de 40.0 vs. 26.4% para primera y segunda lactación, respectivamente. La línea punteada representa el valor promedio de sodio a lo largo de la lactación. Por otra parte, en la Figura 3B se muestra la predicción de las curvas de lactación por grupo y se aprecia el valor promedio de la concentración de sodio ajustada para la producción láctea total durante cada período de muestreo donde se observa para ambos

grupos que la concentración de sodio no se ajustó a la forma de la curva. Durante la primera lactación el sodio aumentó significativa y gradualmente después del pico de lactación (panel superior; $p < 0.05$). Mientras que para la segunda lactación la concentración de sodio no se modificó (panel inferior; $p > 0.05$). * indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre cada período muestreado vs. el segundo y primer muestreo para las cabras de primera y segunda lactación, respectivamente; muestreos que se aproximan a la fecha en la que se obtuvo el pico de producción.

Cuadro 13. Porcentaje de distribución mineral entre las fracciones micelar e hidrosoluble de leche de cabras de primera y segunda lactación

Elemento mineral (%)	Primera lactación		Segunda lactación	
	Fracción			
	Micelar	Hidrosoluble	Micelar	Hidrosoluble
Sodio	74.0 *	26.0	73.1	26.9
Potasio	44.0	56.0 *	37.7	62.3
Calcio	99.7 *	0.3	99.8	0.2
Magnesio	86.6 *	13.4	86.0	14.0
<i>Esencial</i>				
Hierro	ND	ND	ND	ND
Cobre	ND	ND	ND	ND
Zinc	100 *	0	100	0
Selenio	100 *	0	100	0
Fósforo	86.0 *	14.0	87.5	12.5
<i>Tóxico</i>				
Níquel	ND	ND	ND	ND
Cadmio	ND	ND	ND	ND
Arsénico	100 *	0	100	0

* Indica la fracción con más porcentaje de concentración de cada mineral. ND. No detectado

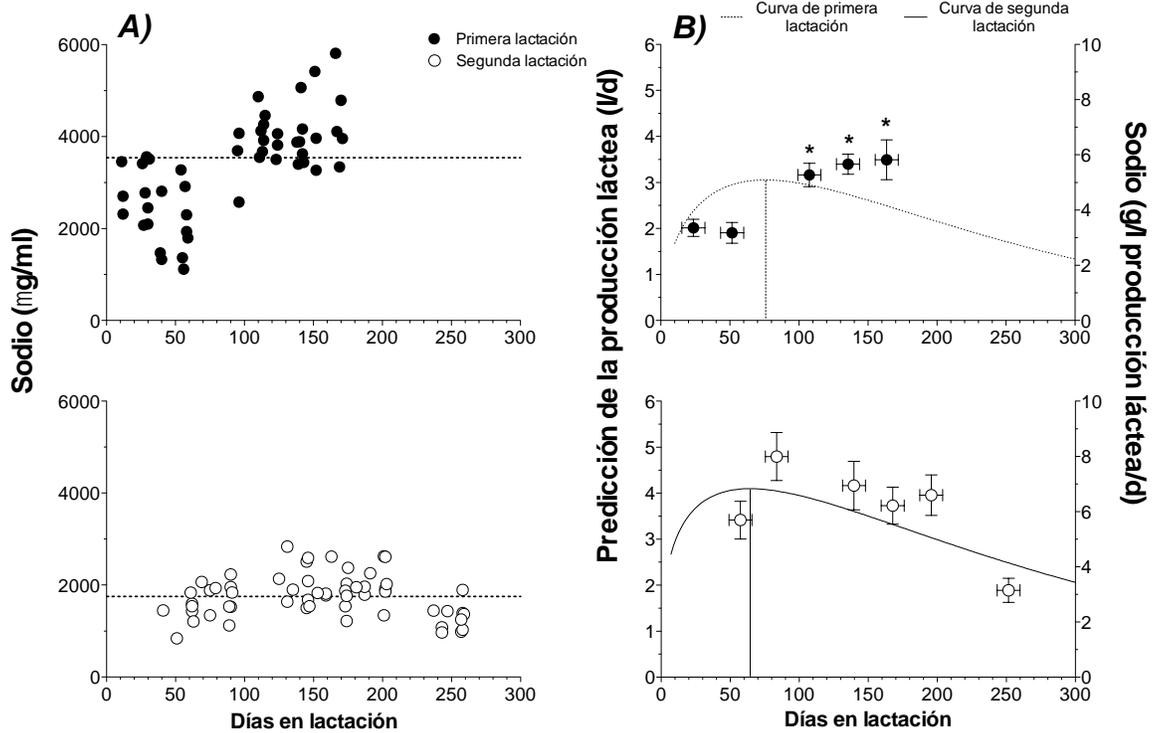


Figura 3. Gráficas de dispersión de la concentración de sodio (Panel A) y valor promedio de la concentración de sodio ajustada para la producción láctea total durante cada período de muestreo (Panel B).

7.3.2 Calcio

En la Figura 4A se presentan las gráficas de dispersión de la concentración de calcio medida a lo largo de la lactación de ambos grupos. La línea punteada representa el valor promedio de calcio a lo largo de la lactación. La concentración de calcio ($\mu\text{g/ml}$) mostró mayor variación durante la primera lactación (panel superior), en contraste con la segunda lactación (panel inferior) en donde se registraron concentraciones consistentes en cada muestreo; coeficiente de variación de 25.6 vs. 10.7% para primera y segunda lactación, respectivamente. En la figura 4B se presenta el valor promedio de la concentración de calcio ajustada para la producción láctea total durante cada período de muestreo. El ajuste del calcio de acuerdo a la producción total de leche indicó que la

concentración de éste se ajustó a la forma de la curva, ya que se presentó una cantidad máxima de calcio, coincidente con el pico de lactación, la cual disminuyó progresivamente con la producción láctea. Así, con respecto al pico de producción para la primera lactación (panel superior) se presentaron valores de calcio significativamente inferiores al inicio y al final del muestreo ($p < 0.05$), mientras que la leche proveniente de la segunda lactación (panel inferior), presentó una disminución de la concentración de calcio a partir de los 150 días ($p < 0.05$). * indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre cada período muestreado vs. el segundo y primer muestreo para las cabras de primera y segunda lactación, respectivamente; muestreos que se aproximan a la fecha en la que se obtuvo el pico de producción.

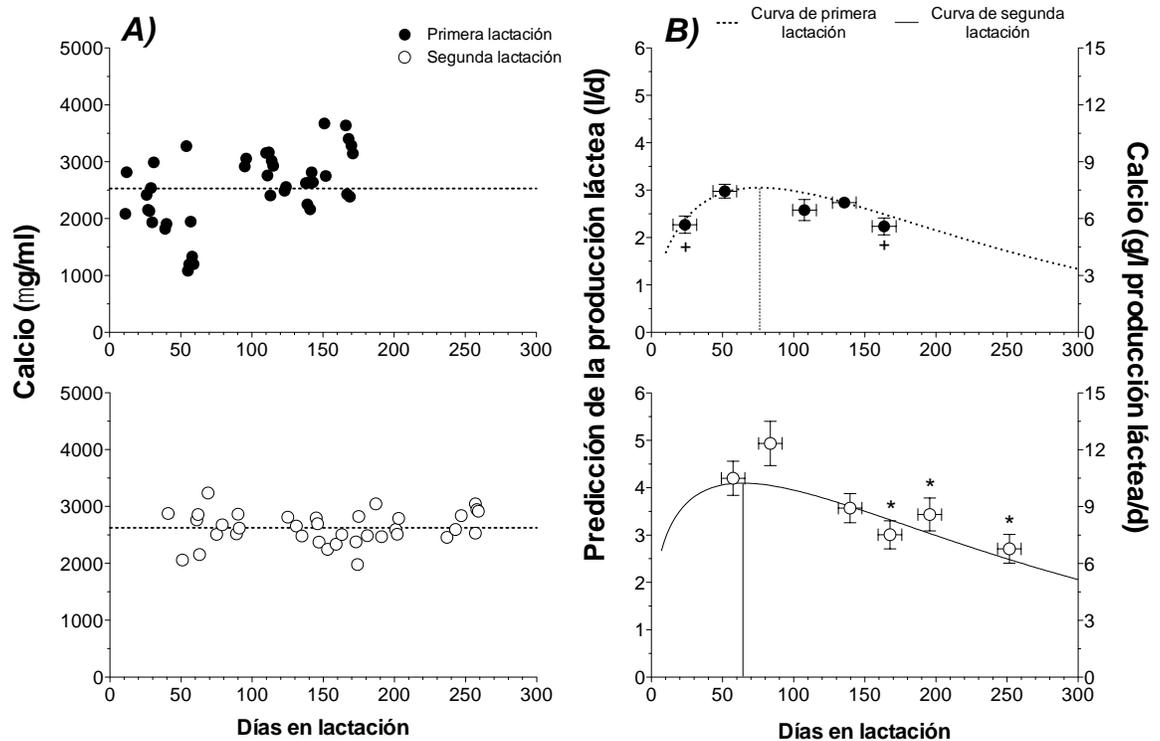


Figura 4. Gráficas de dispersión de la concentración de calcio (Panel A) y valor promedio de la concentración de calcio ajustada para la producción láctea total durante cada período de muestreo (Panel B).

7.3.3 Magnesio

La concentración de magnesio en las gráficas de dispersión presentó un patrón diferente en ambos grupos (Figura 5A). Durante la primera lactación se observó un incremento sostenido de la concentración de magnesio ($\mu\text{g/ml}$) desde el inicio hasta el último período de muestreo (panel superior). A diferencia de la segunda lactación donde se observó una afinidad a disminuir después de los 200 días (panel inferior). La línea punteada representa el valor promedio de magnesio a lo largo de la lactación. La dispersión de la concentración de magnesio resultó amplia entre los dos grupos, a juzgar por los coeficientes de variación de 41.2 vs. 25.5% para la primera y segunda lactación, respectivamente. Comportamiento que se reflejó en el valor promedio de la concentración de magnesio ajustada a la curva lactacional durante cada período de muestreo (Figura 5B). Durante la primera lactación los muestreos posteriores al pico de producción resultaron significativamente mayores con respecto al pico de lactación (panel superior; $p < 0.05$). En contraste para las cabras de segunda lactación la concentración de magnesio se ajustó mejor a la curva, no obstante con un valor bajo para el magnesio medido al pico de producción (panel inferior). * indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre cada período muestreado vs. el segundo y primer muestreo para las cabras de primera y segunda lactación, respectivamente; muestreos que se aproximan a la fecha en la que se obtuvo el pico de producción.

7.3.4 Zinc

En las gráficas de dispersión, el zinc presentó concentraciones en un rango de entre 3-60 $\mu\text{g/ml}$ para ambos grupos a lo largo de la lactación (Figura 6A). Los valores de zinc para la primera lactación presentaron un incremento con respecto al tiempo; a partir del día 100 y hasta el final del muestreo (panel *superior*). Por el contrario durante la segunda lactación, el zinc mostró valores consistentes a lo largo de la lactación (panel *inferior*). La línea punteada representa el valor promedio de zinc a lo largo de la lactación. Los coeficientes de variación sugieren un cambio mayor en el zinc medido durante la primera lactación en comparación

con la segunda lactación (57.2 vs. 24.3%, respectivamente). Finalmente, las modificaciones en la concentración de zinc de acuerdo con el ajuste en relación a la predicción de la curva de lactación, indicaron que únicamente en las cabras de segunda lactación la concentración de zinc disminuyó gradualmente (Figura 6B, panel *inferior*). A diferencia de la primera lactación en donde los valores iniciales de zinc fueron inferiores y se incrementaron significativamente después del pico de producción (Figura 6B, panel *superior*; $p < 0.05$). * indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre cada período muestreado vs. el segundo y primer muestreo para las cabras de primera y segunda lactación, respectivamente; muestreos que se aproximan a la fecha en la que se obtuvo el pico de producción.

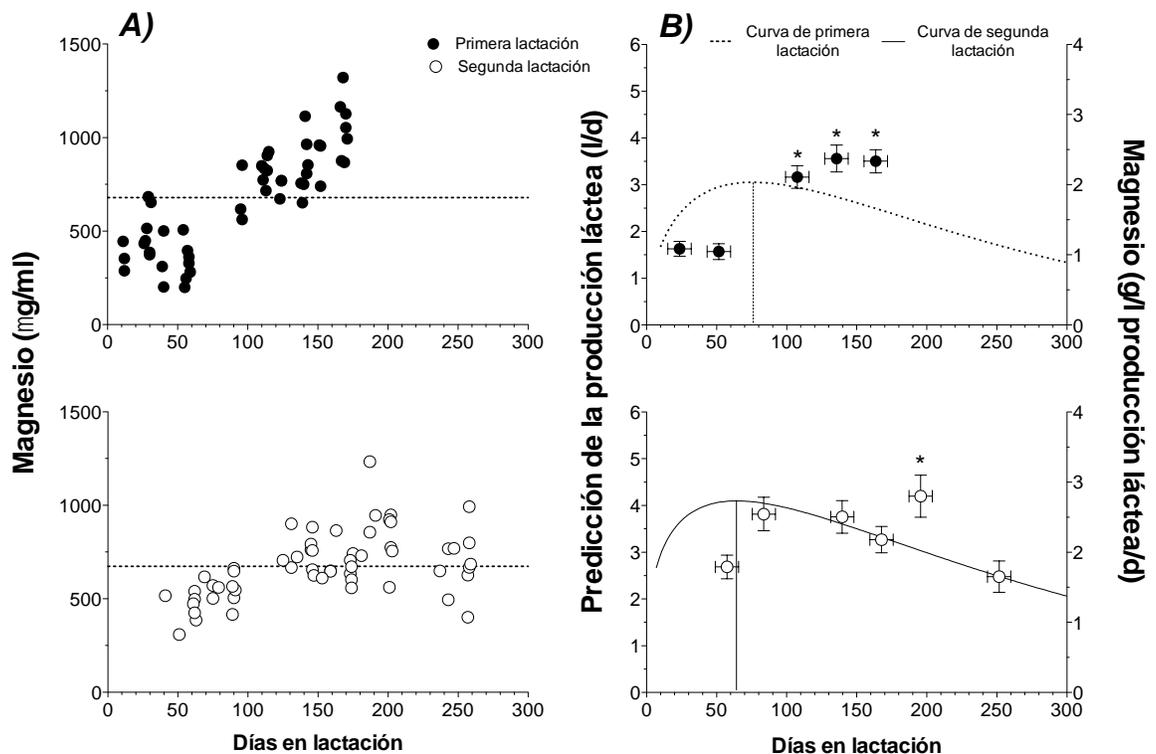


Figura 5. Gráficas de dispersión de la concentración de magnesio (Panel A) y valor promedio de la concentración de magnesio ajustada para la producción láctea total durante cada período de muestreo (Panel B).

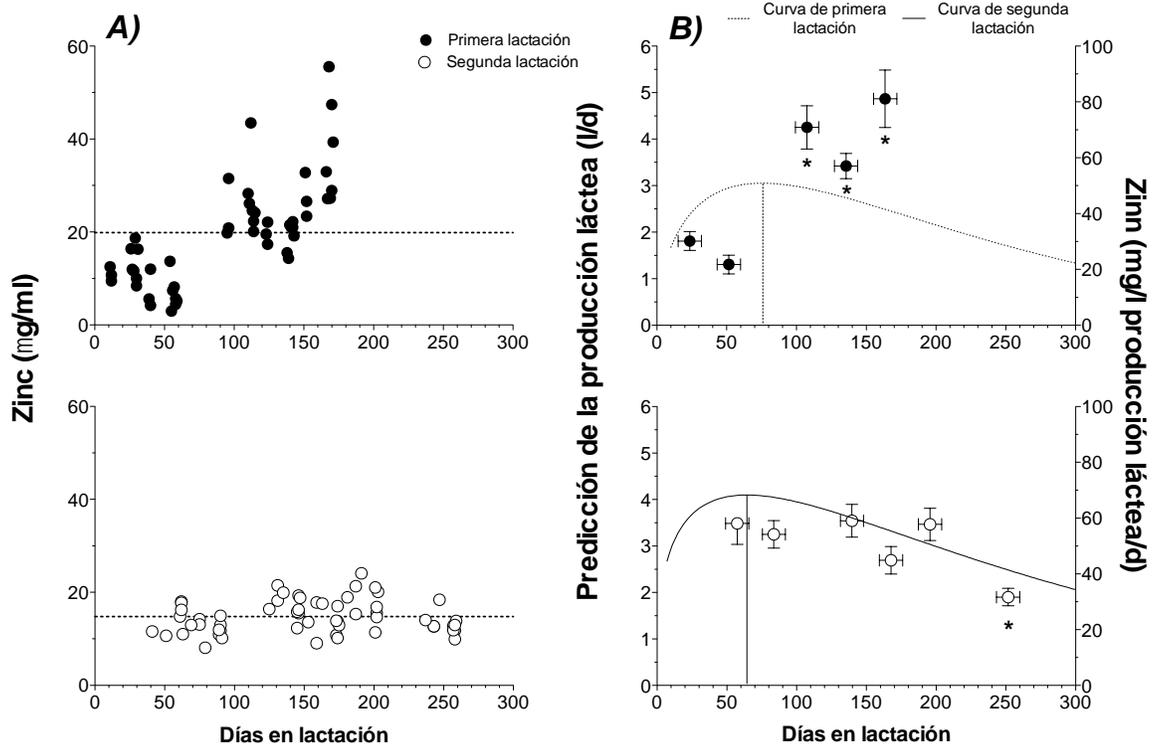


Figura 6. Gráficas de dispersión de la concentración de zinc (Panel A) y valor promedio de la concentración de zinc ajustada para la producción láctea total durante cada período de muestreo (Panel B).

7.3.5 Selenio

De todos los elementos minerales esenciales evaluados, el selenio presentó las concentraciones más bajas para ambos grupos (50 a 400 ng/ml, Figura 7A). Además, los valores de selenio a lo largo de la primera y segunda lactación presentaron patrones contrastantes entre ambos grupos; durante la primera lactación no se apreció un patrón claro de cambios en la concentración de selenio (panel superior). Mientras que las cabras de segunda lactación mostraron una reducción de selenio conforme avanzaron los días (panel inferior). Como resultado de lo anterior, la variación de las concentraciones resultó alta para la primera y la segunda lactación, a juzgar por el coeficiente de variación de 41.5 y 54%, respectivamente. La línea punteada representa el valor promedio de selenio a lo

largo de la lactación. Por otra parte, el ajuste del valor promedio de la concentración de selenio tomando en cuenta la producción láctea reflejó el patrón descrito anteriormente (Figura 7B), en el cual durante la primera lactación se presentaron concentraciones similares a lo largo del tiempo (panel superior; $p > 0.05$) y sin un ajuste adecuado para la forma de la curva. En contraste, durante el inicio de la segunda lactación se presentaron valores altos de selenio, los cuales disminuyeron significativamente a partir de los 150 días de lactación (panel inferior; $p < 0.05$). * indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre cada período muestreado vs. el segundo y primer muestreo para las cabras de primera y segunda lactación, respectivamente; muestreos que se aproximan a la fecha en la que se obtuvo el pico de producción..

7.3.6 Fósforo

En la Figura 8A se presentan las gráficas de dispersión de las concentraciones de fósforo para las cabras de primera (panel superior) y segunda lactación (panel inferior). En ambos casos, los coeficientes de variación resultaron similares; 26.1 y 27.6%, respectivamente. Además, no se observó un patrón claro del cambio del elemento mineral a través de la lactación. La línea punteada representa el valor promedio de fósforo a lo largo de la lactación Sin embargo, el valor promedio de la concentración de fósforo ajustada para la producción láctea total durante cada período de muestreo sugiere que ambos grupos presentaron concentraciones de fósforo que cambiaron de acuerdo con la forma de curva (Figura 8B), aunque sin presentar diferencias significativas de los muestreos con respecto al pico de producción. * indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre cada período muestreado vs. el segundo y primer muestreo para las cabras de primera y segunda lactación, respectivamente; muestreos que se aproximan a la fecha en la que se obtuvo el pico de producción.

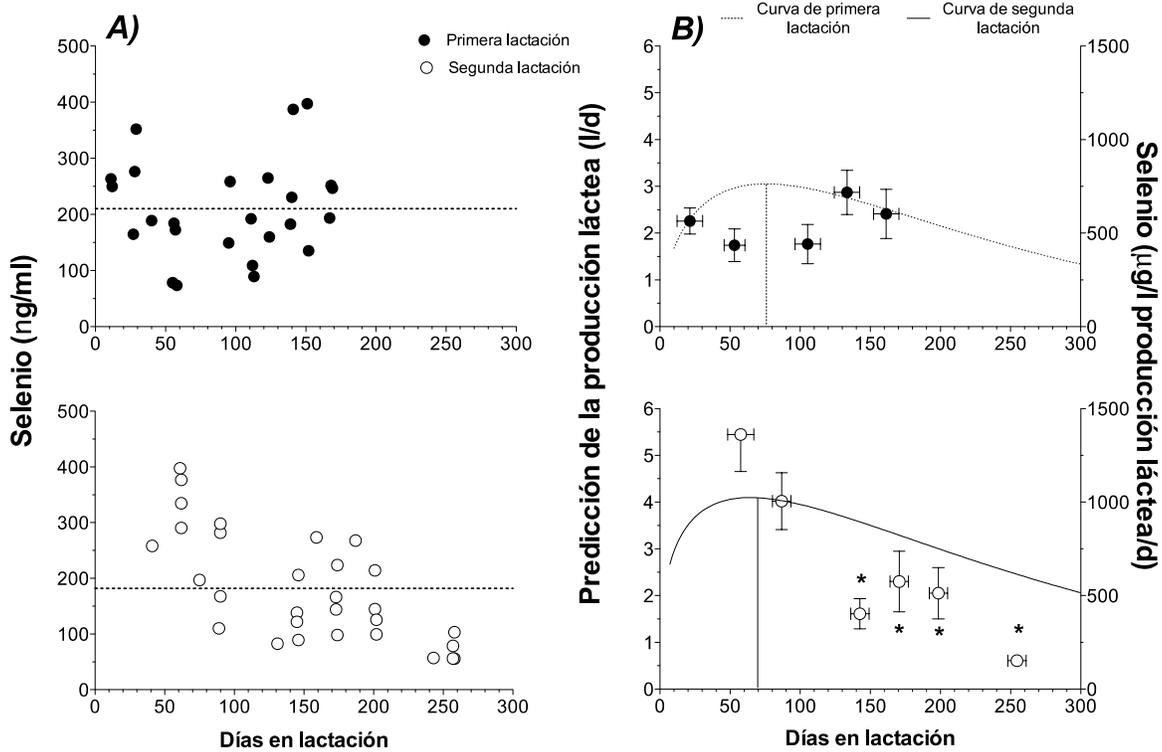


Figura 7. Gráficas de dispersión de la concentración de selenio (Panel A) y valor promedio de la concentración de selenio ajustada para la producción láctea total durante cada período de muestreo (Panel B).

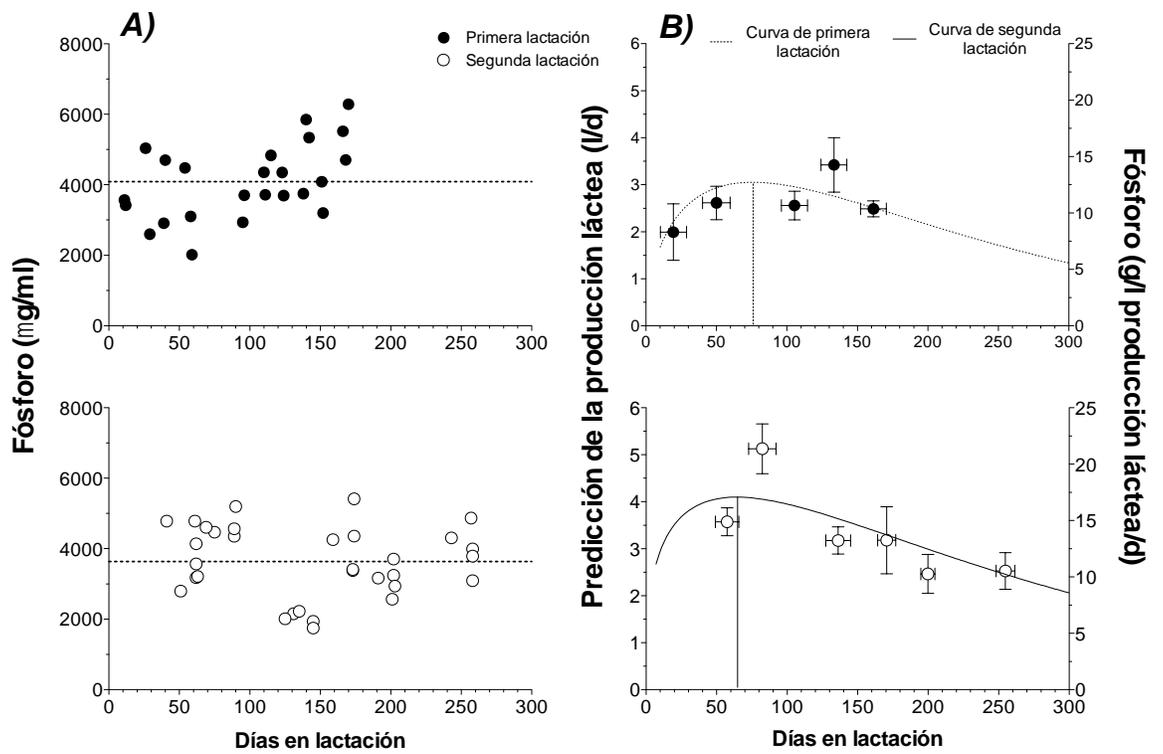


Figura 8. Gráficas de dispersión de la concentración de fósforo (Panel A) y valor promedio de la concentración de fósforo ajustada para la producción láctea total durante cada período de muestreo (Panel B).

7.4 Elementos Minerales esenciales en la leche: fracción hidrosoluble

7.4.1 Potasio

De todos los elementos minerales analizados en este estudio, potasio fue el único que se detectó con mayor porcentaje en la fracción hidrosoluble de la leche.

En la Figura 9A se observa la concentración de potasio a lo largo de la lactación. Tanto en las cabras de primera (panel superior) como de segunda lactación (panel inferior), la concentración de potasio se incrementó progresivamente con los días. Resulta interesante que ambos grupos presentaron concentraciones bajas de potasio desde el inicio de la lactación y hasta el día 100. Adicionalmente, los coeficientes de variación fueron similares para la primera y segunda lactación (22.0 y 27.5%, respectivamente). La línea punteada representa el valor promedio de potasio a lo largo de la lactación. Por otra parte, el potasio fue el único mineral que al ser ajustado de acuerdo a la curva de lactación presentó incrementos significativos después del pico de producción (Figura 9B; $p < 0.05$). * indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre cada período muestreado vs. el segundo y primer muestreo para las cabras de primera y segunda lactación, respectivamente; muestreos que se aproximan a la fecha en la que se obtuvo el pico de producción.

7.5 Elementos minerales tóxicos en la leche: fracción micelar

7.5.1 Arsénico

De los tres elementos minerales tóxicos evaluados en el estudio, únicamente se detectó arsénico en la fracción micelar de la leche. En la Figura 10A se presenta su concentración medida a lo largo de la lactación para ambos grupos de animales. Para las cabras de primera lactación (panel superior) el arsénico mostró un incremento hacia el final del muestreo. A diferencia de la segunda lactación en donde el mineral tóxico no presentó un patrón definido de cambio durante los días de lactación (panel inferior). Los coeficientes de variación indicaron una elevada

variación para la primera lactación en comparación con la segunda (62.9 y 36.0%, respectivamente). La línea punteada representa el valor promedio de arsénico a lo largo de la lactación. Finalmente, el ajuste de la concentración de arsénico con respecto a la predicción de las curvas de lactación se presenta en la Figura 10B. En ambos casos se presentó un comportamiento contrastante entre ambos grupos. Las cabras de primera lactación iniciaron con concentraciones bajas al inicio de la lactación, para después aumentar significativamente al final del muestreo (panel superior; $p < 0.05$). En cambio las cabras de segunda lactación mostraron una tendencia a disminuir la concentración del arsénico (panel inferior). * indica diferencias significativas ($p < 0.05$) entre cada período muestreado vs. el segundo y primer muestreo para las cabras de primera y segunda lactación, respectivamente; muestreos que se aproximan a la fecha en la que se obtuvo el pico de producción.

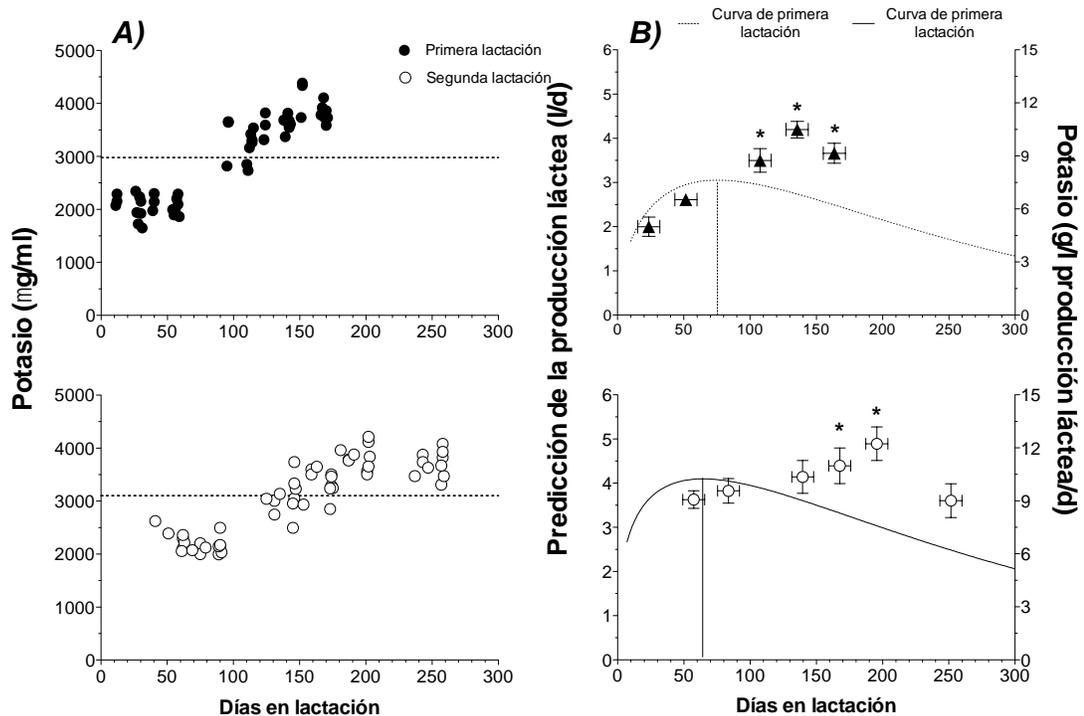


Figura 9. Gráficas de dispersión de la concentración de potasio (Panel A) y valor promedio de la concentración de potasio ajustada para la producción láctea total durante cada período de muestreo (Panel B).

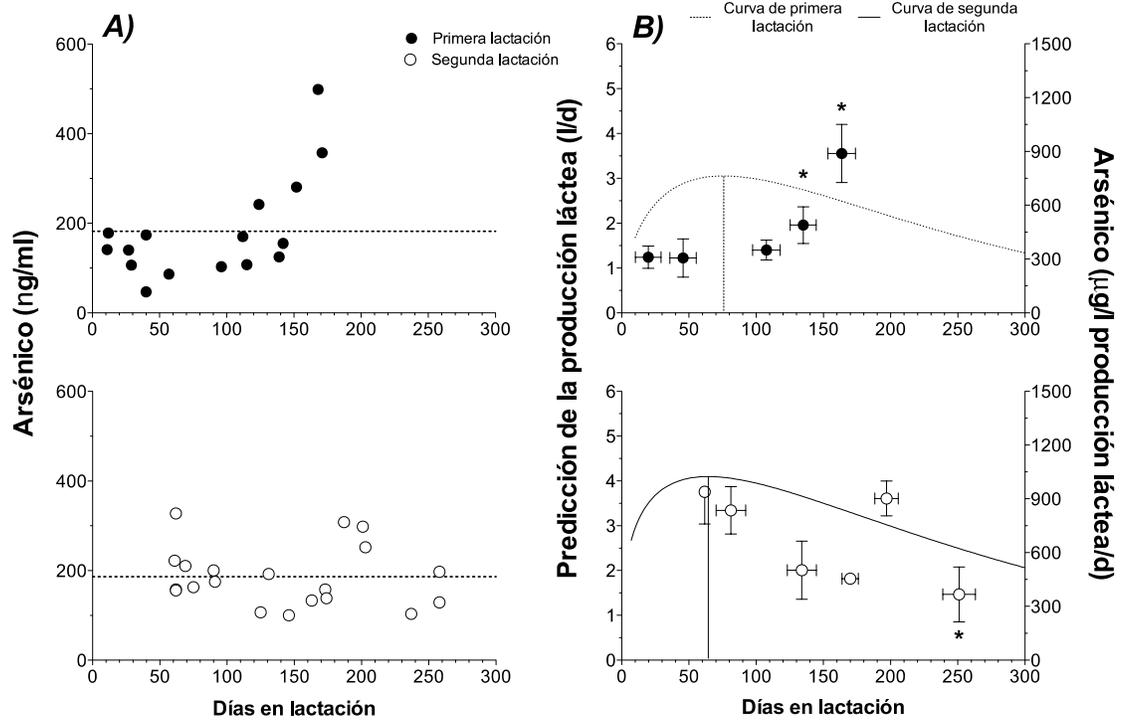


Figura 10. Gráficas de dispersión de la concentración de arsénico (Panel A) y valor promedio de la concentración de arsénico ajustada para la producción láctea total durante cada período de muestreo (Panel B).

7.6 Cambios en la concentración mineral a lo largo de la lactación

En el Cuadro 14 se resumen los resultados del análisis de correlación lineal entre la concentración mineral ajustada con la producción láctea total y los días en lactación. Resulta notable que los minerales Na, Mg, Zn, K y As presentaron una correlación positiva para las hembras de primera lactación ($r > 0.9$; $p < 0.05$). Por el contrario, para las hembras de segunda lactancia, los minerales Ca, Se y P presentaron un coeficiente de correlación negativo ($r < -0.75$; $p < 0.05$).

Cuadro 14. Coeficientes de correlación lineal de Pearson (r) entre la concentración mineral y los días en lactación

Tipo de mineral	Lactación		
	Primera	Segunda	
Esenciales	Na	0.95*	-0.63
	Ca	-0.16	-0.87 *
	Mg	0.95*	-0.10
	Zn	0.89 *	-0.70
	Se	0.46	-0.92 *
	P	0.57	-0.76 *
	K	0.91*	0.29
Tóxico	As	0.80 *	-0.62

* indica un coeficiente de correlación significativo con un nivel de $p < 0.05$.

7.7 Comparación de la concentración mineral durante la primera y segunda lactación

Para comparar los valores de los minerales a lo largo de la lactación entre ambos grupos, se utilizó el valor promedio de la concentración mineral durante todos los períodos de muestreo. Los resultados demuestran que no se

encontraron diferencias significativas en el contenido mineral (Cuadro 15; $p < 0.05$), sugiriendo que entre la primera y segunda lactación no se presentan diferencias en la concentración de los elementos minerales esenciales. No obstante, los resultados del ajuste de los minerales con la curva de lactación demuestran patrones diferenciales entre ambas lactaciones.

Cuadro 15. Media \pm E. E. de la concentración mineral ($\mu\text{g/ml}$) en la fracción representativa con mayor porcentaje mineral de la leche de hembras de primera y segunda lactación comparadas mediante una *t* de Student para dos medias independientes

<i>Mineral</i>	<i>Lactación</i>		<i>P</i>
	<i>Primera</i>	<i>Segunda</i>	
Sodio	1770 \pm 100.2	1750 \pm 61.2	NS
Calcio	2525 \pm 94.33	2625 \pm 51.0	NS
Magnesio	679 \pm 39.62	673 \pm 22.82	NS
Zinc	19 \pm 1.61	14 \pm 0.4	NS
Selenio	0.210 \pm 0.017	0.182 \pm 0.018	NS
Fósforo	4089 \pm 218.3	3882 \pm 141.9	NS
Potasio*	5956 \pm 231.8	5922 \pm 194.9	NS
Arsénico	0.182 \pm 0.028	0.186 \pm 0.015	NS

NS. No significativo; *Fracción hidrosoluble

7.8 Estimación del aporte mineral en la ración para las cabras en estudio

Se realizó una estimación del aporte de los elementos minerales tanto esenciales como tóxicos, con base en los alimentos proporcionados a los animales de primera y segunda lactación, el agua de bebida y el porcentaje de inclusión en la dieta para observar si los valores se encuentran dentro de los parámetros sugeridos por diversos autores (Cuadro 16).

Cuadro 16. Estimación del aporte mineral (mg) en la dieta para cabras Saanen en producción de leche en este estudio.

<i>Mineral (mg)</i>	<i>Ración</i>	<i>Agua</i>	<i>Total</i>
Sodio	4801.1	2496	7297.1
Magnesio	3157.9	72.0	3229.9
Potasio	40971.7	216.0	41187.7
Selenio	0.0276	N.D.	0.0276
Arsénico	1.19	0.324	1.514
Calcio	5225.6	N.D	5225.6
Fósforo	3010.9	N.D.	3010.9

7.9 Concentración mineral en alimento y agua de bebida

Los valores de los elementos minerales encontrados en las fuentes de alimento, así como en el agua de bebida de las cabras de primera y segunda lactación se presentan en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Media \pm D.E. de la concentración mineral en diferentes fuentes de alimento y en agua de bebida proporcionada a las hembras de primera y segunda lactación

Fuente	Mineral							
	Sodio	Potasio	Magnesio	Calcio	Fósforo	Selenio	Arsénico	
Alimento ($\mu\text{g/g BS}$)	<i>Ensilado</i>	182 \pm 52	3583 \pm 1962	651 \pm 285	357 \pm 219	94 \pm 139	0.064 \pm 0.013	0.061
	<i>Alfalfa</i>	1863 \pm 279	17817 \pm 3400	1099 \pm 77	2093 \pm 72	723 \pm 313	0.049 \pm 0.023	0.23 \pm 0.17
	<i>Concentrado</i>	1983 \pm 891	10002 \pm 1039	1169 \pm 38	1843 \pm 381	2449 \pm 476	0.110 \pm 0.067	1.11 \pm 1.05
<i>Agua</i> ($\mu\text{g/ml}$)	208 \pm 41	18 \pm 7	6 \pm 2	ND	ND	ND	0.027 \pm 0.008	

ND: No detectado

8 DISCUSIÓN

La forma de la curva de la lactación en ganado lechero ofrece valiosa información la cual está relacionada con las características de la producción como el nivel, duración y máximo de producción en una lactancia. Estos datos podrán ser utilizados a favor de los productores para: 1) planificar los grupos de animales a parto, con el fin de mantener un nivel de producción estable a lo largo del año con el objeto de satisfacer la demanda del mercado; y 2) para organizar los diferentes grupos de alimentación con base en los requerimientos nutricionales de los animales, en función de la disponibilidad de alimentos y necesidades fisiológicas (León et al., 2012).

8.1 Características de la primera y segunda lactación de las cabras

De acuerdo con la información contenida en la Fig. 2, se observó que el pico de lactación para las hembras de primera y segunda lactación se alcanzó en la semana 10^o y 9^o, respectivamente. Esto coincide con lo descrito por Majid et al. (1994) y Peris (1994) quienes señalan que comúnmente las cabras, en particular las de raza Saanen alcanzan el pico de producción entre la 8^a y 12^a semana postparto; sin embargo, Gipson y Grossman (1990) también evaluaron las características de las curvas de leche de cabras Saanen en estabulación, donde señalan que los animales de esta raza alcanzaron el pico de producción entre la 4^a y la 9^a semana. En otra investigación, se encontró que las cabras Sokoto roja desarrollaron un incremento en la producción de leche hasta alcanzar el pico de lactación entre las semana 2a y 5a postparto, para posteriormente declinar gradualmente hasta el día 120 de la lactación (Akpa et al., 2001).

Apoyando lo anterior, las observaciones realizadas por Garcés et al. (2004) mencionan que pueden existir algunos animales que presenten picos máximos de producción de forma prematura, esto es antes de los 50 días de lactación. En un estudio con cabras Murciano-Granadina se indica que el pico de producción se alcanzó en promedio a los 45 días de lactación, valor que está dentro de los

rangos encontrados entre otras poblaciones caprinas, donde el pico por lo general, se alcanza entre la quinta y la octava semana de la lactancia (Morand-Fehr y Sauvant, 1980; Kala y Prakash, 1990).

El comportamiento natural de una cabra en producción con relación a su nivel de producción y el número de lactancias indica que conforme las cabras experimentan partos y lactaciones, su nivel de producción se incrementa; observándose en las cabras multíparas un alcance del pico de lactación más lento en comparación con las hembras primíparas (Figura 2). Cabe señalar que en esta investigación se registraron niveles de producción que obedecen este comportamiento fisiológico. Estos resultados se complementan con los descritos por León et al. (2012) quienes mencionan que las cabras en su primera lactancia tuvieron un menor nivel inicial de producción, un tardío y menor pico de producción, pero una persistencia mayor, cuando se compara con otras lactancias. Similares resultados fueron encontrados por Menéndez-Buxadera et al. (2010) en granjas de ganado Murciano-Granadino en España.

Por otro lado, aunque con niveles de producción significativamente inferiores, los resultados obtenidos en México por Montaldo et al. (1997), describen niveles de producción al pico de lactación de 1.78, 2.38 y 2.54 kg para cabras Saanen, Alpinas y cruza de Toggenburg, registrados en los días 58, 61 y 54, respectivamente. De igual forma, León et al. (2007), mencionan que el nivel del pico de producción de leche en las cabras de primer (1.57 Kg), de segundo (1.78 kg) y de tercer parto (1.88 kg), se alcanzó entre los días 47 y 54 post-parto.

Con relación al índice de persistencia, en este estudio se observó que las cabras de primera lactación mostraron una persistencia de 7.9 días, mientras que las cabras de segunda lactación fue de 7.2 días (Figura 2). Los resultados de este estudio son ligeramente superiores a los descritos por Takma et al. (2009), quienes trabajaron con cabras Saanen y Bornova, y encontraron que la persistencia fue de 6.49 y 5.78, respectivamente. Resultados similares fueron descritos por Fernández

et al. (2002), quienes analizaron los parámetros de producción de cabras Murciano-Granadinas. Lo anterior, se puede explicar debido a que las cabras en su primera lactancia presentan un menor nivel inicial de la producción, un menor rendimiento y un pico máximo más pequeño, lo que causa una persistencia mayor, cuando se compara con otras lactancias (León et al., 2012).

Es necesario mencionar que los registros de producción de los animales de este estudio fueron al día del muestreo; esto con base en las diferencias de la persistencia que muestran los animales durante el ordeño matutino y el vespertino, siendo este último el que mayor índice posee (Pala y Savas, 2005). Han sido diversos los modelos utilizados por diferentes investigadores en el análisis de la curva de lactación de cabras lecheras, en los cuales, los parámetros requeridos son altamente influenciados por diversos factores (González-Peña et al., 2012), por lo cual se puede explicar que aún al utilizar los mismos datos con un modelo u otro, los resultados puedan mostrar variaciones.

Por último, se debe recordar que la caída gradual de las curvas a lo largo de la lactación, es considerada normal, ya que se entiende que ocurre un proceso de involución de la glándula mamaria después del pico de lactación, caracterizado en la cabra por una disminución en el número de células secretorias en la glándula mamaria, por lo que la producción a lo largo de la lactación se verá fuertemente influida por la tasa de muerte celular debida a la apoptosis en la glándula lactante (Wild y Knigh, 1989; Zeng et al., 1997; Oliver et al., 2001; Stefanon, 2002).

8.2 Porcentaje de distribución mineral en las fracciones de la leche

Jaramillo (2012) menciona que la medición de los elementos minerales en la leche completa no es la que refleja la respuesta de la complementación mineral a través del alimento. Ya que la distribución de los elementos minerales en su respectiva fracción, se da de acuerdo a las características fisicoquímicas de cada mineral. Por ejemplo, calcio, fósforo y magnesio tienden a formar caseinatos, así como el zinc y cobre, por lo que la respuesta se observa en la porción micelar. En

cambio el sodio y potasio al ser hidrosolubles la respuesta se identificará en la porción hidrosoluble.

Herrera (2011), menciona que el nivel de calcio, fósforo, magnesio, sodio y zinc en la leche entera de vaca no presentan cambios entre ellos, por lo que es necesario la evaluación de estos minerales en ambas fracciones de la leche.

El conocer el contenido de los elementos minerales en la leche es necesario, debido a que la fracción mineral juega un papel muy importante en la estructura y estabilidad de las micelas de caseína. Pequeños cambios en las condiciones fisicoquímicas pueden provocar algunas variaciones en su composición o distribución, con la consecuente alteración de las micelas de caseína. (Gaucherón, 2005).

De acuerdo con los resultados de este estudio, el porcentaje de distribución y concentración de la mayoría de los diferentes elementos minerales analizados, se detectaron principalmente en la porción micelar de la leche, con excepción del potasio (Cuadro 13). Es bien conocido que la leche contiene partículas coloidales las cuales están compuestas por una asociación compleja de proteínas y fosfato de calcio. Estas partículas son mejor conocidas como micelas de caseína (Fox, 2003).

Al respecto, Gaucherón (2005) menciona que los minerales se distribuyen de manera diferente entre las fracciones hidrosoluble y micelar o fase coloidal de la leche (principalmente en micelas de caseína); lo que puede originar que a lo largo de la lactación, el incremento en el contenido de caseína en la leche sea la causa de la variación en la concentración de los diferentes elementos minerales asociados con la porción micelar de la leche (Aganga et al., 2002).

Jenness (1980) menciona que las micelas de caseína de la leche de cabra contienen más calcio y fósforo inorgánico con respecto a las micelas de la leche

de vaca, razón por la cual en este estudio se encontró un mayor porcentaje de estos minerales en la fracción micelar de la leche de cabra.

La diferencia entre los valores de los diferentes trabajos consultados con los arrojados por esta investigación, se puede deber a la serie de procedimientos utilizados para la separación de las fracciones de la leche (micelar e hidrosoluble) en donde además de la centrifugación y filtrado, en nuestro trabajo se agregó metanol HPLC para provocar la precipitación de proteínas. De la Fuente et al. (1996) mencionan que el método utilizado para la separación de las fracciones puede provocar variaciones en la disposición de las diferentes sales minerales en las distintas fracciones de la leche. En otro trabajo, el mismo autor comenta que el procedimiento más adecuado para la separación de las fracciones debe ser el que perturbe lo menos posible la estructura micelar, tal como sería una ultracentrifugación; ya que los métodos que incluyen aislamiento por precipitación ácida no son adecuados, como alteración del pH por ejemplo, porque provocan la redistribución de los elementos que van a ser analizados, de manera que la distribución original se pierde (De la Fuente et al., 1997). Fransson y Lönnnerdal, (1983) mencionan que la separación por diálisis favorece el paso de minerales, particularmente calcio y zinc de la fracción micelar al complejo de la fase soluble.

En cuanto a la distribución de microelementos, existen estudios aislados sobre la distribución de zinc entre las dos fases. Estos indican que el zinc es unido a fosfato de calcio coloidal en una proporción ligeramente superior a la leche de vaca (Swamy y Mathur, 1985; Kiely et al., 1992).

De la Fuente et al. (1997) describen que la mayor parte del zinc (87.5%) se encontró en la fracción micelar de la leche de cabra; lo cual es comparable a la distribución encontrada en leche de oveja (91,6%) y en estudios anteriores sobre leche bovina. Cabe señalar que en este estudio se encontró que el 100% del contenido de zinc se registró en la fracción micelar de la leche de cabra.

Una explicación de estos hallazgos se puede deber a que el zinc en muestras de leche de vaca, tiene una afinidad a la fracción lipídica muy baja (Fransson y Lönnnerdal, 1983; Sandstrom et al., 1983; Renner et al., 1989), por lo que la caseína es presumiblemente el principal vinculante del zinc ligado a la leche de oveja y cabra. En otro estudio, se describe que en cuanto al contenido de selenio en la leche, éste se vincula más con la parte acuosa que con la fracción grasa, sin embargo, al realizar el análisis con muestras de leche descremada, se puede observar que el 69% de este elemento está en la fracción micelar, el 25% en la porción acuosa y un escaso 6% en la fase lipídica (Dael et al., 1992).

En cuanto a la distribución de elementos minerales en la fracción hidrosoluble de la leche, Gaucherón (2005) señala que en particular, tanto el potasio y el sodio son iones esencialmente difusibles o hidrosolubles, razón por la cual en este estudio, estos elementos tuvieron una mayor presencia en la fase acuosa de la leche.

Al comparar los resultados obtenidos en este estudio con los de otras investigaciones, se encontró que De la Fuente et al. (1997), describen que los porcentajes de calcio, magnesio y fósforo en la fase soluble de la leche de cabra fueron 33, 66 y 39%, respectivamente; valores que son superiores a los encontrados en esta investigación. Además, mencionan que el 44 y 18% del contenido de hierro y cobre, respectivamente, se encontraron en la fase hidrosoluble de la leche; situación que no es posible comparar con los datos de este estudio, debido a que la concentración del hierro y cobre, níquel y cadmio estuvieron por debajo del límite de detección de la metodología utilizada.

La importancia de la concentración y sobre todo de la distribución de los elementos minerales, radica en que elementos como el aluminio, el plomo y el cadmio tienen la capacidad de unirse tanto a los lípidos como a la caseína, incrementando la acidificación e inhabilitando su separación durante la fase de cuajado; lo que puede provocar la aparición de un fenómeno conocido como

mineralización de las micelas de caseína (Coni et al., 1996). La contaminación de la leche por estos elementos tóxicos puede provenir de los diferentes métodos de procesamiento y tecnologías de industrialización aplicadas (Merdivan et al., 2004).

8.3 Concentración de elementos minerales esenciales en la leche

De acuerdo con los datos bibliográficos consultados y a partir de los resultados obtenidos en esta investigación, no es posible establecer un criterio que englobe los diferentes resultados sobre las concentraciones de los elementos minerales analizados en las muestras de leche de cabra. Sin embargo, en los Cuadros 18, 19 y 20 se observan algunos datos de diversos investigadores con la intención de establecer una visión comparativa y relacionarlos con los múltiples factores de variación implicados en cada uno de los resultados.

Se debe recordar que la concentración de los elementos minerales en la leche, pueden tener una variación diversa relacionada con factores como: 1) prácticas de manejo y producción (sistema de producción, etapa y duración de la lactación, época del año, clima, número de parto, fotoperiodo, amamantamiento y frecuencia de ordeño; 2) raza y genética (genotipo, número de crías); 3) estado de salud (infecciones intramamarias); 4) prácticas de nutrición y alimentación (tipo de materias primas, nivel de inclusión de concentrado, nivel proteico, de grasas y ácidos grasos (Aganga et al., 2002; Herrera et al., 2006; Goetsch et al., 2011) o bien, 5) por el tipo y sensibilidad de la metodología analítica aplicada para la determinación del contenido de los diferentes componentes (Ataro et al., 2008).

Lo anterior bien se puede asociar con los resultados obtenidos en este estudio, debido a que, las diferencias registradas no fueron significativas entre el contenido de los diferentes elementos minerales en la leche de cabras de primera y segunda lactancia, y se puede advertir que al querer comparar con los resultados de otros trabajos, se podrán encontrar diversos cuestionamientos para justificar el contenido de los elementos en cada una de las investigaciones.

Cuadro 18. Contenido de macro-minerales en leche de cabra reportados por diferentes autores

<i>Investigador (es):</i>	<i>Año</i>	<i>Lugar</i>	<i>Contenido de macro-minerales (mg/kg)</i>				
			<i>K</i>	<i>Na</i>	<i>P</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>
Al-Dobaib et al	2010	A. Saudita	1540	550	290	1373	160
Mayer y Fiechter	2012	Austria	2015	317	1009	1288	138
Aganga et al	2002	Botswana	3060	220	3130	6460	810
Días et al	1995	Brasil	2060	450	ND	1111	ND
Rashed	1992	Egipto	41	42	ND	ND	8.1
Martín-Hernández et al	1988	España	0.035	0.035	ND	0.17	0.012
Rincón et al	1994		1676	456	ND	1599	146
Martín et al	1995		1432	505	ND	1463	124
De la Fuente et al	1996		ND	ND	996	1257	119
De la Fuente et al	1997		ND	ND	872	1468	122
Rodríguez et al	2002		1585	514	ND	1533	157
Herrera et a	2006		1240	510	ND	1340	120
Navarro-Alarcón et al	2011		ND	ND	ND	1940	178.2
Mestawet et al	2012		Etiopía	1690	360	1390	1620
Haenlein	1980	EUA	1900	390	1000	1370	240
Guo et al	2001		ND	672	1300	1500	160
Guéguen	1997	Francia	1900	380	970	1260	110
Kondyli et al	2007	Grecia	1520	594	977	1320	158.7
Khan et al	2006	Pakistán	480	380	ND	830	87
Imran et al	2008		113	27	ND	644	139
Hilali et al	1995	Siria	ND	ND	1020	1280	ND
Güler	2007	Turquía	409	433	823	1342	510
Güzeler et al	2010		1240	550	580	1180	160

ND. No detectado

Cuadro 19. Contenido de micro-minerales en leche de cabra reportados por diferentes autores

<i>Investigador (es):</i>	<i>Año</i>	<i>Lugar</i>	<i>Contenido de micro-minerales (µg/g)</i>		
			<i>Fe</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>
Al-Dobaib et al	2010	A. Saudita	2.44	3.82	1.04
Aganga et al	2002	Botswana	17.56	76.51	15.26
Rashed	1992	Egipto	0.19	0.328	0.015
Martín-Hernández et al	1988	España	0.473	3.459	0.362
Moreno-Rojas et al	1994		0.686	4.908	0.416
De la Fuente et al	1997		0.63	4.64	0.28
Rodríguez et al	2002		0.52	3.31	0.173
Herrera et al	2006		700	3200	180
Mestawet et al	2012	Etiopía	0.36	5.47	ND
Haenlein	1980	EUA	0.4	2	0.4
López et al	1985		44.51	34.26	0.84
Guéguen	1998	Francia	0.46	3.8	0.22
Jooyandeh, Aberoumand	2010	Irán	0.7	5.6	0.5
Coni et al	1996	Italia	2.68	18.05	0.612
Bano et al	1985	Pakistán	0.62	4.120	0.38
Khan et al	2006		0.4	2.91	0.3
Güler	2007	Turquía	3.88	4.68	0.48

ND. No detectado.

Cuadro 20. Contenido de selenio en leche de cabra reportado por diferentes autores.

<i>Investigador</i>	<i>Año</i>	<i>Lugar</i>	<i>Contenido de selenio (µg/g)</i>
Benemariya et al	1993	Burundi	23.1
Rodríguez et al	2002	España	20.0
Herrera et al	2006		0.0129
Debski et al	1987	EUA	13.3
Guéguen	1998	Francia	0.02
Bratakos et al	1987	Grecia	7.0
Giri et al	1988	India	20.0
Khan et al	2006	Pakistán	0.014
Güler	2007	Turquía	7.59

8.4 Concentración de elementos minerales tóxicos en la leche

Es poca la información existente acerca de las concentraciones de arsénico en leche y en productos lácteos, por lo que es de suma importancia investigar sobre los niveles de este metaloide y relacionarlos con el entorno ecológico y con las múltiples y diversas prácticas de manejo que rodean a las unidades de producción. La información acerca de la distribución del arsénico es muy escasa. Se ha señalado que puede ser eliminado a través de la leche, aunque en niveles bajos según algunos estudios realizados en la mujer (Grandjean et al., 1995; Concha et al., 1998).

Casey et al. (1995), menciona que el contenido de arsénico en los diferentes tejidos y líquidos corporales está directamente relacionado con el nivel de ingestión. Sin embargo algunos experimentos señalan la presencia de un mecanismo de barrera que evita su presencia en exceso en la leche, aun cuando los niveles de arsénico en la ración fueron 25 veces mayores que lo normal.

Puls (1994) menciona que la concentración normal de este elemento mineral para leche de cabra oscila entre 2.10 y 3.40 mg/l de leche, valores que se encuentran muy por arriba de los encontrados en este trabajo para ambos grupos de lactación.

Pérez C y Fernández C (2005) analizaron la concentración de arsénico en leche de vacas expuestas al consumo de dos fuentes de agua, y encontraron valores que oscilaron entre 0.0028 y 0.0105 $\mu\text{g/g}$ para los animales que consumían agua procedente de mantos freáticos y de 0.0005 $\mu\text{g/g}$ de arsénico para animales que bebían agua de un pozo profundo, valores que se encuentran por debajo de lo encontrado en esta investigación ya que los niveles de arsénico para la leche de cabra de ambos grupos osciló entre los 0.182 y los 0.186 $\mu\text{g/ml}$ de leche.

Hermansen et al. (2005) realizaron un muestreo en Dinamarca para identificar la concentración de macrominerales y elementos traza en la leche y encontraron

que los valores de arsénico fueron de 0.00025 y 0.23 µg/g, datos que igualmente están por debajo de los encontrados en este estudio.

Con relación a su papel biológico dentro del organismo diversos estudios señalan que la presencia del arsénico es esencial (Nielsen y Uthus, 1984; Uthus, 1992). Sin embargo su participación biológica en los seres vivos no ha sido demostrada, o al menos no en humanos (NRC, 1999). Además Puls, (1994) señala que los animales pueden desarrollar una tolerancia al arsénico por la ingestión de dosis bajas durante un amplio periodo.

Los animales son capaces de tolerar niveles bajos de arsénico en los tejidos (<0.5 ppm) (Fletcher, 1986; Bahri y Romdane, 1991). Las estimaciones de las necesidades de arsénico (25-50 µg/kg/MS) se encuentran muy por debajo de las presentes en raciones comerciales o en forrajes, debiendo resaltar que el margen de seguridad entre la dosis provechosa y la tóxica es muy estrecha (Underwood y Suttle, 2003).

La carencia de arsénico en la ración de cabras y cerdos enanos puede desencadenar una reducción de la tasa de crecimiento, una disminución de la fertilidad y un incremento de la mortalidad (Anke et al., 1991).

Como se mencionó anteriormente, los elementos: hierro, cobre, níquel y cadmio no se detectaron, lo que corresponde a la abreviatura "ND"; la cual está basada en la sensibilidad del equipo para la detección del elemento en cuestión.

Esto es aplicable cuando por ejemplo, se tiene 1 ml de muestra y se afora a 10 ml, pero cuando se tiene una muestra de 10 ml y se afora a los mismos 10 ml después de someterla a una digestión, se incrementará 10 veces la concentración mineral y por lo tanto la sensibilidad del equipo será mayor, esto es, el ruido relativo será de 0.1 mg/l (Perkin Elmer Analyst 100[®]), esta concentración se considera como la cantidad mínima detectable para los 4 elementos no

detectados, por lo tanto el tamaño de la muestra sí influye en la detección del elemento mineral a medir.

8.5 Cambios en la concentración mineral a lo largo de la lactancia

Al respecto, en un estudio realizado en la India, se observó que la concentración de los minerales en la leche de cabras se incrementa significativamente desde la primera hasta la cuarta lactación (Bhosale, et al., 2009). De igual forma, Aganga et al. (2002) encontraron que el contenido de elementos minerales en leche de cabras Tswana, también varió a lo largo del periodo de estudio.

De acuerdo con Güzeler et al. (2010), en la leche de cabras Saanen X Kilis se presentaron variaciones a lo largo de la lactación en la concentración de calcio, fósforo, potasio y magnesio, no siendo significativos. Sin embargo, al ser comparados con otros estudios, el contenido de calcio en la leche, resultó ser mayor (Park y Chukwu, 1988; Voutsinas et al., 1990; Simos et al., 1991).

Se debe recordar que los cambios registrados en el contenido de elementos minerales en la leche de cabras durante la lactación y entre lactancias es multifactorial, es por ellos que algunos investigadores han descrito que el fósforo, potasio, sodio, calcio y magnesio se incrementan conforme avanza la lactación (Boros y Herian, 1988) sin embargo, en otras investigaciones se menciona que elementos como el sodio, potasio, calcio y magnesio permanecen constantes a lo largo de la lactación (Wuschko y Seifert, 1992).

En el caso particular del calcio, Simos et al. (1991), encontraron que éste disminuyó gradualmente durante la lactación, mientras que los otros elementos como el sodio, fósforo y potasio incrementaron su concentración. Lo anterior coincide con los resultados obtenidos en esta investigación, donde a partir del registro de la máxima concentración de calcio en la leche de cabras de primera y segunda lactación en las semanas 7 y 11, respectivamente, se observó una disminución en su concentración hacia el final de la lactancia. Antunac et al.

(2001), describen contenidos significativamente más altos de calcio y fósforo al inicio de la lactación, en comparación con el tercio medio de la lactancia.

La relativa constancia de la concentración de calcio se debe básicamente a que el contenido de caseína está regido genéticamente y no se altera por efecto de la alimentación (Haug et al., 2007); sin embargo, en una investigación realizada por Amer et al. (1999), se encontró que al día 28 postparto, se registró el valor máximo; mientras que el fósforo, presentó la mayor concentración entre el día 2 y 7 de la lactación. En el caso de la leche, se puede observar que algunos elementos minerales tienen un buen índice de penetración en ella, sobre todo cuando su concentración sanguínea o plasmática es muy elevada y se pueden encontrar suficientes cantidades libres, situación que facilita el paso de algunos elementos hacia ella (Mata-Vallespín et al., 2008). Un ejemplo de lo anterior es mencionado por Ahmed et al. (2000), quienes registraron niveles plasmáticos bajos de calcio y fósforo en el primer tercio de la lactación, en comparación con la mitad de la lactancia. Otro fenómeno que se advierte, está relacionado con el potencial de producción de leche, donde las cabras altas productoras presentan un decremento al inicio de la lactación, pero con un aumento hacia la mitad de la lactancia. Observaciones similares se obtuvieron por Mbassa (1991) que asocian las altas cantidades de magnesio en la leche durante la lactancia con la disminución concomitante a nivel plasmático. Además, en determinadas circunstancias como la gestación, un periodo de acidosis o de lactancia, se puede observar la movilización de importantes cantidades de los elementos minerales dentro del organismo principalmente calcio (Gulson et al., 1995; Gulson et al., 1997; Gulson et al, 1998).

En el caso del fósforo, Boros y Herian (1988) encontraron que al inicio de la lactancia los niveles son bajos, pero se registra hasta un 3.4% de incremento de éste mineral hacia el final de esa misma lactación. Esto se relaciona con la excreción de ambos elementos (calcio y fósforo) en la leche, la cual fue mayor

durante el comienzo de la lactancia (Toverud et al., 1976; Ballantine y Herben, 1989).

En cuanto a los niveles de magnesio y zinc, éstos sólo muestran pequeñas variaciones, mientras que el selenio en la leche está fuertemente relacionado con su concentración en la dieta (Haug et al., 2007). Por otro lado, la concentración de hierro en la leche de animales domésticos tiene un rango que abarca de 0.2 a 3.0 µg/ml; en el caso del calostro es mayor su contenido con respecto al de la leche (Casey et al., 1995).

8.6 Estimación del aporte mineral en la ración para las cabras en estudio

Para poder hacer una comparación de los requerimientos sugeridos por diversos autores y los resultados obtenidos en este estudio, se deben tomar en cuenta las diferentes condiciones en la que se encuentran los animales, como el tipo de sistema de producción, los insumos que reciben, las condiciones climáticas propias del país en el que se encuentran.

Con base en los resultados de la estimación del aporte mineral de los alimentos que consumen los animales de primera y segunda lactación, el sodio se encuentra por arriba de lo sugerido por Hart (2004) y los requerimientos recomendados por el NRC (2007), quienes mencionan que la inclusión diaria debe ser de 2000 mg y entre 1930-3700 mg, respectivamente.

En cuanto a los valores de magnesio, Hart (2004) menciona, para una dieta estándar, 1800 a 4000 mg de inclusión diaria, mientras que el NRC, sugiere entre 2400 a 4650 mg/día; esto indica que los valores encontrados en este estudio estuvieron dentro de los descritos por los autores citados (Cuadro 9).

Hart (2004), menciona que el porcentaje de inclusión diaria de potasio debe ser de 8000 a 20000 mg/día, mientras que el rango sugerido por el NRC (2007) oscila entre los 14400 a 23800 mg de inclusión diaria, valores que se encuentran por debajo de lo encontrado en esta investigación.

La concentración de selenio observada en este estudio, se encontró por debajo de la cantidad de inclusión recomendada por los diversos autores (Cuadros 8 y 9).

Las tablas del NRC (1981) sugerían que el rango de aporte de calcio por día a lo largo de una lactación debía ser de 8.36 a 10.86 g para animales de primera lactancia, mientras que para animales de segunda lactación debía ser de 9.52 a 15.36 g; sin embargo, en la versión 2007 de las tablas del NRC se señala que la cantidad recomendada para animales de primera lactación es de 16.1 a 20.4 g/día y 16.5 a 20.9 g/día para animales de segunda lactación, por lo que los valores encontrados en este estudio se encuentran por debajo de lo descrito anteriormente. Por otro lado, los valores obtenidos en este trabajo están dentro de lo descrito por Hart (2004), quien menciona que para una dieta estándar la inclusión de este elemento, debe ser de 3000 a 8000 mg/día.

Los valores encontrados de fósforo en este trabajo, se encuentran por debajo de lo descrito por Hart (2004), quien menciona que la inclusión diaria de fósforo debe ser de 250 a 400 mg diarios. Las tablas del NRC (1981), sugerían que al día, las cabras de primera lactación debían consumir un rango de 5.76 a 5.99, mientras que las de segunda lactación un rango de 7.18 a 10.75 g, valores que se encuentran por arriba de los observados en este estudio; los valores recomendados por las tablas del NRC (2007) son aún más elevados con respecto a este trabajo, mencionando un rango de 9.4 a 12.1 g para los animales de primera lactación, mientras que para los de segunda, el rango va de 9.8 a 12.6 g/día.

En relación a los niveles de arsénico, Cinq y Mars (2011) mencionan que el nivel máximo tolerable de este elemento mineral tóxico, es de 50 a 100 mg/kg, valores que se encuentran muy por arriba de lo observado en esta investigación. Sin embargo, este valor se encontró por arriba de lo descrito por Haenlein y Anke (2011) quienes mencionan un valor de 0.35 mg/día.

8.7 Concentración mineral en el alimento y agua de bebida

Con relación a la alimentación Bendall (2001) y Lane et al. (2002) mencionan que las propiedades de los forrajes pueden determinar la composición de la leche específicamente en sus características organolépticas y fisicoquímicas. Por ejemplo, la concentración de ácido linolénico y vitamina E en la leche, es reflejo del contenido en los pastos consumidos por el animal, por la elevada concentración de lípidos totales y ácidos grasos producto del consumo de granos y subproductos de éstos (Enser et al., 1998; O'Connor et al., 2001), o por los niveles de los diferentes elementos traza que se encuentran presentes tanto en forrajes y piensos como por las sales correctoras adicionadas en las raciones de los animales (Knowles et al., 2006).

En el caso particular de la leche y los productos lácteos, la presencia de los elementos tóxicos y esenciales proviene de animales que han sido expuestos o alimentados con forrajes de suelos contaminados (McLaughlin et al., 1999; Nicholson et al., 2003).

Los metales pueden entrar al organismo humano y al de los animales dependiendo de su biodisponibilidad y/o de la vía de entrada expuesta. Algunos ejemplos de ello pueden ser la inhalación o la ingestión de agua y alimentos, lo cual se relaciona con hábitos y recursos alimenticios de los individuos, el tipo de alimentos consumidos, el grado de contaminación ambiental, los procesos patológicos en cualquier órgano o tejido, principalmente en el aparato respiratorio y digestivo y las condiciones climáticas extremas (Alberti-Fidanza et al., 2003; Chen et al., 2003; Prankel et al., 2004).

Se debe recordar que existen algunos elementos minerales esenciales y tóxicos dependientes de la dieta, sin embargo, en el caso particular de la relativa constancia de la concentración de calcio, se debe básicamente a que el contenido de caseína está regido genéticamente y no se altera por efecto de la alimentación (Haug et al., 2007).

En cuanto a los niveles de magnesio y zinc, éstos sólo muestran pequeñas variaciones, mientras que el selenio en la leche está fuertemente relacionado con su concentración en la dieta (Haug et al., 2007).

Con base en lo citado por la NOM-127-SSA1-1994, la cual considera como límite permisible 0.05mg/l de arsénico para agua potable, este valor se encuentra por arriba de lo detectado en el agua de bebida de los animales.

9 CONCLUSIONES

- El contenido de elementos minerales en las fracciones micelar e hidrosoluble de la leche de cabra de ambos grupos varió a lo largo de la lactación, sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre ellos. Por lo que se concluye que la etapa productiva del animal no afecta fuertemente la concentración mineral en las fracciones de la leche.
- El ajuste de la curva de producción láctea para ambos grupos de animales, permitió observar las características principales de producción mostrando un comportamiento típico de ésta para los animales de primera y segunda lactación.
- Los elementos minerales esenciales, sodio, calcio, magnesio, zinc, selenio y fósforo se localizaron en la fracción micelar, mientras que el potasio se distribuyó principalmente en la fracción hidrosoluble. Comportamiento que se presentó en ambos grupos de animales. La distribución de los elementos minerales en las fracciones de la leche, se da de acuerdo a las características físico químicas, de cada elemento mineral y no se relaciona con el número de lactaciones.
- De los elementos minerales tóxicos, el arsénico fue el único detectado en la fracción micelar de la leche de las cabras de ambos grupos, mientras que níquel y cadmio no se detectaron. La concentración de arsénico, estuvo dentro de los límites permisibles por la normativa, sin embargo, esto resulta ser un bio indicador importante para dar continuidad a la vigilancia del elemento mineral tóxico.

10 REFERENCIAS

- AFRC, Agricultural and Food Research Council, 1998. The nutrition of goats. Report 10. Nutr. Abstr. Revision (Series B), Aberdeen 67 (11).
- AGANGA AA, AMARTEIFIO JO, NKILE N. Effect of stage of lactation on nutrient composition of Tswana sheep and goat's milk. J Food Comp Anal. 2002; 15:533-543.
- AHMED MMM, SIHAM AK, BARRI MES. Macromineral profile in the plasma of Nubian goats as affected by the physiological state. Small Rum Res. 2000; 38:249-254.
- AKPA GN, ASIRIBO EO, ONI OO, ALAWA JP. The influence of non-genetic factors on the shape of lactation curves in Red Sokoto goats. Animal Sci. 2001; 72:233-239.
- ALBERTI-FIDANZA A, BURINI G, PERRIELLO G, FIDANZA F. Trace elements intake and status of Italian subjects living in the Gubbio area. Environ Res. 2003; 91:71-77.
- AL-DOBAIB SN, MEHAIA MA, KHALIL MH. Effect of feeding discarded dates on milk yield and composition of Aradi goats. Small Rum Res. 2010; 81:167-170.
- AL-AWADI FM, SRIKUMAR TS. Trace-element status in milk and plasma of Kuwaiti and non-Kuwaiti lactating mothers. Nutrition. 2000; 16:1069-1073.
- AMER HA, SALEM HAH, AL-HOZAB AA. Biochemical changes in serum and milk constituents during postpartum period in Saudi Ardy goats. Small Rum Res. 1999; 34:167-173.
- ANKE M, GROPPPEL B, KRAUSE U. The essentiality of the toxic elements cadmium, arsenic and nickel. In: Momcilovic, B. (editor). Proceedings of the Seventh International Symposium on Trace Elements Metabolism in Man and animals, Dubrovnik, Zagreb: 1991; 116-118.

- ANTUNAC N, SAMARZIJA D, HAVRANEK JL, PAVIC V, MIOC B. Effects of stage and number of lactation on the chemical composition of goat milk. *Czech J Anim Sci.* 2001; 46:548-553.
- ATARO A, MCCRINDLE RI, BOTHA BM, MCCRINDLE CME, NDIBEWU PP. Quantification of trace elements in raw cow's milk by inductively couple plasma mass spectrometry (ICP-MS). *Food Chem.* 2008; 111:243-248.
- BAHRI LE, ROMDANE SB. Arsenic poisoning in livestock. *Vet Hum Toxicol.* 1991; 33:259-264.
- BALLANTINE HT, HERBEN JH. Calcium-regulating and metabolic hormones during the lactating cycle of Holstein and Jersey cows. *J Dairy Sci.* 1989; 72 (Suppl. 1), 316-317.
- BANO N, NAEEM PV, KHAN HH. Trace metal studies in milk, milk products and eggs. *J Nat Sci Math.* 1985; 25:67-74.
- BELEWU MA, ADEWOLE AM. Goat milk: Feasible dietary based approach to improve the nutrition of orphan and vulnerable children. *Pak J Nut.* 2009; 8(10):1711-1714.
- BENDALL JG. Aroma compounds of fresh milk from New Zealand cows fed different diets. *J Agric Food Chem.* 2001; 49: 4825–4832.
- BENEMARIYA H, ROBBERECHT H, DEELSTRA H. Zinc, copper and selenium in milk and organs of cow and goat from Burundi, Africa. *Sci Total Environ.* 1993; 128:83-98.
- BOROS V, HERIAN K. Changes of certain minerals contents in goat milk during the lactation period. *Hungary.* 1988; 37: 49-52.
- BOZA J, SANZ SAMPELAYO MR. Aspectos nutricionales de la leche de cabra. *ACVAO.* 1997; 10:109-139.
- BHOSALE SS, KAHATE PA, KAMBLE K, THAKARE VM, GUBBAWAR SG. Effect of lactation on physic-chemical properties of local goat milk. *Vet World.* 2009; 2:17-19.

- BRATAKOS M, ZAFIROPOULOS T, SISKOS P, LOANNOU P. Selenium in foods produced and consumed in Greece. *J Food Sci.* 1987; 52: 817-822.
- CASEY CE, SMITH A, ZHANG P. Microminerals in human and animal milk. In *Handbook of milk composition*. Jensen RG (editor). USA, Academic Press: 1995; 543-575.
- CASHMAN KD. Macrominerals in milk and dairy products, nutritional significance. In Roginski H, Fox PF, Fuquay JW (editors). *Encyclopedia of Dairy Sciences*, London, Academic Press 2002: 2051–2058.
- CINQ-MARS D. Oligo Éléments. *Agri Réseau. Bovins de boucherie.* 2001.
- CONI E, BOCCA A, COPPOLELLI P, CAROLI S, CAVALLUCCI C, TRABALZA MARINUCCI M. Minor and trace element content in sheep and goat milk and dairy products. *Food Chem.* 1996; 57:253-260.
- CONCHA G, NERMELL B, VAHTER MV. Metabolism of organic arsenic in children with chronic arsenic exposure in northern Argentina. *Environ Health Perspect.* 1998; 106:355-359.
- CHACÓN VA. Nutritional facts concerning goat milk (*Capra hircus*) and its variations during the agroindustrial process. *Agronomía Mesoamericana.* 2005; 16(2): 239-252.
- CHANDAN R, ATTAIE R, SAHANI KM. Nutritional aspects of goat milk and its products. *Proc. V Int Conference on Goat.* Nueva Delhi. 1992; 1869-1890.
- CHEN H, LEE C, LIAO P, GUO Y, CHEN C, SU H. Associations between dietary intake and serum polychlorinated dibenzo-p-dioxin and dibenzofuran (PCDD/F) levels in Taiwanese. *Environ Res.* 2003; 91:172-178.
- CROUT NMJ, BERESFORD NA, DAWSON JM, SOAR J, MAYES RW. The transfer of ⁷³As, ¹⁰⁹Cd and ²⁰³Hg to the milk and tissues of dairy cattle. *J Agric Sci.* 2004; 142:203-212.
- DAEL P, SHEN L, RENTERGHEM R, DEELSTRA H. Selenium content of goat milk and its distribution in protein fractions. *Zeitschrift fuer Lebensmittel Untersuchung und.* 1992; 195(1): 3-7.

- DEBSKI B, PICCIANO MF, MILNER JA. Selenium content and distribution of human, cow and goat milk. *J Nutr.* 1987; 117:1091-1097.
- DE LA FUENTE MA, FONTECHA J, JUÁREZ M. Partition of main and trace minerals in milk: Effect of ultracentrifugation, rennet coagulation, and dialysis on soluble phase separation. *J Agric Food Chem.* 1996. 44:1988-1992.
- DE LA FUENTE MA, OLANO A, JUÁREZ M. Distribution of calcium, magnesium, phosphorus, zinc, manganese, copper and iron between the soluble and colloidal phases of ewe's and goat's milk. *Lait.* 1997; 77: 515-520.
- DÍAS JM, TANEZINI CA, PONTES IS, OLIVEIRA ABC, D'ALESSANDRO WT, SOUZA JT. Mineral composition of raw goat milk in Goiania. *Cienc Tecnol Aliment.* 1995; 15:24-28.
- DUCOING WAE. Producción de leche de cabra: situación y perspectivas. Memorias electrónicas de la XIX reunión anual CONASA. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México. 2011.
- EL-ZAYAT AI, MOHAMMED AA, GOUDA A, ABBAS A. Chemical composition and physical properties of goat milk in Suez canal area and Sinai peninsula Egypt. *J Food Sci.* 1984; 12:149-154.
- ENSER M, HALLETT KG, HEWETT B, FURSEY GAJ, WOOD JD, HARRINGTON G. Fatty acid content and composition of beef and lamb muscle in relation to production system and implications for human nutrition. *Meat Sci.* 1998; 49: 329–341.
- FAIRES MC. Inorganic arsenic toxicosis in a beef herd. *Can Vet J.* 2004; 45:329-331.
- FARZANA P. Nutrition requirement of goat. Digital ver lag GmbH. Germany. Edition ChemLin. 2005.

- FERNÁNDEZ C, SANCHEZ A, GARCÉS C. Modeling the lactation curve for test-day milk yield in Murciano-Granadina goats. *Small Rum Res.* 2002; 46: 29-41.
- FOX PF. Milk proteins: General and historical review. In *Advanced dairy chemistry*, pp:1-49 (Ed., P.F. Fox) New York; London: Kluwer Academic/Plenum). 2003.
- FLETCHER A. Renal disease in cattle. Part II Clinical signs, diagnosis and treatment. *Compend Contin Educ Pract Vet.* 1986; 8:S338-S344.
- FRANSSON GB, LÖNNERDAL B. Distribution of trace elements and minerals in human and cow's milk. *Pediatr Res.* 1983; 17:912-915.
- GAUCHERON F. Review: The minerals of milk. *Reprod Nutr Dev.* 2005; 45: 473-483.
- GARCÉS AR, BOZA LJ, ACEVEDO SP, BRANDL E, BRUCKMAIER RM, LOPEZ FJL. Persistence index and description of first 100 days of the lactation curve of primiparous and multiparous Saanen goats maintained in confinement. *Agri Tec.* 2004; 64:319-326.
- GIPSON TA, GROSSMAN M. Lactation curves in dairy goats: a review. *Small Rum Res.* 1990; 3:383-396.
- GIRI J, JEYANTHI GP, SELVI S. Evaluation of selenium and chromium content in selected foods. *The Ind. J Nutr. Dietet.* 1988; 25: 140-143.
- GOETSCH AL, ZENG SS, GIPSON TA. Factors affecting goat milk production and quality. *Small Rum Res.* 2011; 101:55-63.
- GÓMES RA, OLIVIEIRA-PASCOA D, TEIXEIRA IAMA, DE MEDEIROS AN, DE RESENDE KT, YAÑEZ EA, FERREIRA ACD. Macromineral requirements for growing Saanen goat kids. *Small Rum Res.* 2011; 99:160-165.
- GONZÁLEZ-PEÑA D, ACOSTA J, GUERRA D, GONZÁLEZ N, ACOSTA M, SOSA D, TORRES-HERNÁNDEZ G. Modeling of individual lactation curves

for milk production in a population of Alpine goats in Cuba. *Livestock Sci.* 2012; 07:026.

- GUÉGUEN L. La valeur nutritionnelle minerale du lait de chevre. In: Freund, G. (Ed.), *Interets nutritionnels et die´tétique du lait de chevre*, INRA, Niort, 1997; 67–80.
- GUO MR, DIXON PH, PARK YW, GILMORE JA, KINSTEDT PS. Seasonal changes in the chemical composition of commingled goat milk. *J Dairy Sci.* 2001; 84:E79-E83.
- GULSON BL, MAHAFFEY KR, MIZON KJ, KORSCH MJ, CAMERON MA, VIMPANI G. Contribution of tissue lead to blood lead in adult female subjects based on stable lead isotope methods. *J Lab Clin Med.* 1995; 125:703-712.
- GULSON BL, JAMESON CW, MAHAFFEY KR, MIZON KJ, KORSCH MJ, VIMPANI G. Pregnancy increases mobilization of lead from maternal skeleton. *J Lab Clin Med.* 1997; 130:51-62.
- GULSON BL, MAHAFFEY KR, JAMESON CW, MIZON KJ, KORSCH MJ, KORSCH MJ, CAMERON MA, EISMAN JA. Mobilization of lead from skeleton during the postnatal period is larger than during pregnancy. *J Lab Clin Med.* 1998; 131:324-329.
- GUY PA, FENAILLE F. Contribution of mass spectrometry to assess quality of milk-based products. *Mass Spectrometry Rev.* 2006; 25:290-326.
- GÜLER Z. Levels of 24 minerals in local goat milk, its strained yoghurt and salted yoghurt (tuzlu yogurt). *Small Rum Res.* 2007; 71:130-137.
- GÜZELER N, SAY D, KACAR A. Compositional changes of Saanen X Kilis goat's milk during lactation. *GIDA*, 2010; 35:325-330.
- GRANDJEAN P, WEIHE P, NEEDHAM LL, BURSE VW, PATTERSON DG, SAMPSON EJ, JORGENSEN PJ, VAHTER M. Relation of a seafood diet to mercury, selenium, arsenic and polychlorinated biphenyl and other organochlorine concentrations in human milk. *Environ Res.* 1995; 71:29-38.

- HAENLEIN GFW. Mineral nutrition of goats. *J Dairy Sci.* 1980; 63:1729-1748.
- HAENLEIN GFW, ANKE M. Mineral and trace element research in goats. A review. *Small Rum Res.* 2011; 95:2-19.
- HAENLEIN GFW, WENDORFF WL. Sheep milk-production and utilization of sheep milk. In: Park YW, Haenlein GFW (Eds), *Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals*. Blackwell Publishing Professional, Oxford, UK, and Ames, Iowa, USA. 2006; 137–194.
- HAUG A, HOSTMARK AT, HARSTAD OM. Bovine milk in human nutrition: a review. *Lipid Health Dis.* 2007; 6:25.
- HART S. Introduction to goat nutrition. Technical note. Langstone University. Oklahoma. USA. 2004.
- HAZA DAI. Obtención de anticuerpos monoclonales frente a las caseínas de la leche de cabra y su utilización en la diferenciación de mezclas lácteas y quesos. Tesis Doctoral Departamento de nutrición y bromatología III (higiene y tecnología de los alimentos) Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Veterinaria. 2005.
- HERMANSEN JE, BADSBURG JH, KRISTENSEN T, GURDENSEN V. Major and trace elements in organically or conventionally produced milk. *J Dairy Sci.* 2005; 72:362-368.
- HERNÁNDEZ GF. Fosforilación de la fracción proteica del lactosuero bovino y efecto sobre su composición mineral. Tesis de maestría. FMVZ UNAM. 2011.
- HERRERA GMI, PELÁEZ PP, FRESNO BM, RODRÍGUEZ RE, DARÍAS MJ, DÍAZ RC. Mineral and trace element concentrations of dairy products from goat's milk produced in Tenerife (Canary Islands). *Inter Dairy J.* 2006; 16:182-185.

- HERRERA LA. Modificaciones de la cantidad y calidad de la leche por efecto de la oxitocina en vacas de doble propósito en el trópico. Tesis de maestría FMVZ. UNAM. 2011.
- HILALI M. Cheese Making from Sheep and Goat Milk Applying New Technologies. ACSAD, Damascus, Syria. 1995.
- HOMAN EJ, WATIAUX M. Guía técnica lechera. Universidad de Wisconsin 2002: 38-53.
- IMRAN M, KHAN H, HASSAN SS, KHAN R. Physicochemical characteristics of various milk samples available in Pakistan. J Zhejian Univ Sci. 2008; 9:546-551.
- JAUBER G, KALANTZOPOULOS G. Quality of goat milk for cheese and others products. VI Int Conf Goats. Int. Academic Publisher Beijing (China) 1996; 1:274-284.
- JANDAL JM. Comparative aspects of goat and sheep milk. Small Rum Res. 1996; 22:177-185.
- JARAMILLO CMA. Respuesta de la complementación mineral sobre el contenido mineral de la leche completa y sus fracciones micelar e hidrosoluble de vacas F1 (Holstein x Cebú). Tesis de maestría. FMVZ UNAM. 2012.
- JENG SL, LEE SJ, LIN SY. Determination of cadmium and lead in raw milk by graphite furnace atomic absorption spectrophotometer. J Dairy Sci. 1994; 77:945-949.
- JENNESS R. Composition and characteristics of goat milk: Review. J.Dairy Sci. 1980; 63:1605-1630.
- JOOYANDEH H, ABEROUMAND A. Physico-Chemical, nutritional, heat treatment effects and dairy products aspects of goat and sheep milks. World Appl Sci J. 2010; 11:1316-1322.

- KALA SN, PRAKASH B. Genetic and phenotypic parameters of milk yield and milk composition in two Indian goats breeds. *Small Rum Res.* 1990; 3:475-484.
- KIELY LJ, KINDSTEDT PS, HENDRICKS GM, LEVIS JE, YUN JJ, BARBANO DM. Effect of draw pH on the development of curd structure during the manufacture of Mozzarella cheese. *Food Struct.*1992; 11:217-224.
- KONDYLI E, KATSIARI MC, VOUTSINAS LP. Variations of vitamin and mineral content in raw goat milk of the indigenous Greek breed during lactation. *Food Chem.* 2007; 100:226-230.
- KHAN ZI, ASHRAF M, HUSSAIN A, MCDOWELL LR, ASHRAF MY. Concentration of minerals in milk of sheep and goats grazing similar pastures in a semiarid region of Pakistan. *Small Rum Res.* 2006; 65:274-278.
- KNOWLES SO, GRACE ND, KNIGHT TW, MCNABB LJ. Reasons and means for manipulating the micronutrient composition of milk from grazing dairy cattle. *Ani Feed Sci Technol.* 2006; 131:154-167.
- LANE GA, FRASER K, KOLVER ES, ROWAN DD, ALLEN JM, MILLS OE, ABRAHAM AS, OLNEY SD. Effect of a total mixed ration diet on the concentration of amino acid-derived volatiles in milk. *Proc. NZ Soc Anim Prod.* 2002; 62: 242-245.
- LEÓN JM, MACCIOTTA NPP, GAMA LT, BARBA C, DELGADO JV. Characterization of the lactation curve in Murciano-Granadina dairy goats. *Small Rum Res* 2012; 107:76-84.
- LI Y, MCCRORY DF, POWELL JM, SAAM H, JACKSON-SMITH D. A survey of selected heavy metal concentrations in Wisconsin dairy feeds. *J Dairy Sci.* 2005; 88:2911–2922.
- LICATA P, TROMBETTA D, CRISTANI M, GIOFRÈ F, MARTINO D, CALÒ M, NACCARI F. Levels of “toxic” and “essential” metals in samples of bovine milk from various dairy farms in Calabria, Italy. *Environ Inter.* 2004; 30:1-6.

- LÓPEZ A, COLLINS WF, WILLIAMS HL. Essential elements, cadmium and lead in raw and pasteurized cow and goat milk. *J Dairy Sci.* 1985; 68: 1878-1886.
- LÓPEZ FR, DE LA FUENTE M, RAMOS M, OLANO A. Distribution of minerals and proteins between the soluble and colloidal phases of pressurized milks from different species. *J Dairy Res.* 1998; 65: 69-78.
- MAGARIÑOS H. Producción higiénica de la leche cruda. Departamento de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología. Washington, OEA. 2006.
- MAJID A, CARTWRIGHT TC, YAZMAN JA, FITZHUGH H.A. Performance of five breeds of dairy goats in Southern United States. II. Lactation yield and curves. *World Rev Anim Prod* 1994; 29:30-37.
- MARTÍN P, CHINEA E, CORBELLA M, FRESNO M y CAPOTE. Caracterización de 10s tipos étnicos. En *Pastos y Productos Ganaderos*, pp. 109-120, Universidad de La Laguna, Tenerife. 1995.
- MARTÍN-HERNANDEZ MC, JUAREZ M, RAMOS M, MARTÍN ALVAREZ PJ. Composición de la leche de cabra de razas murciana y granadina. *Anal. Bromatol.* 1988; 40: 237-248.
- MATA-VALLESPÍN L, SÁNCHEZ L, CALVO M. Plomo en la leche y otros alimentos. *Tecnología y Bioquímica de los alimentos.* Universidad de Zaragoza. <http://milksci.unizar.es/metal/lead.html>. Acceso 04-05-2008. 1996.
- MAYER HK, FIECHTER G. Physical and chemical characteristics of sheep and goat milk Austria. *Inter Dairy J.* 2012; 24:57-63.
- MENÉNDEZ BUXADERA A, MOLINA A, ARREBOLA F, GIL MJ, SERRADILLA JM. Random regression analysis of milk yield and milk composition in the first and second lactations of Murciano-Granadina goats. *J Dairy Sci.* 2010; 93:2718–2726.

- MERDIVAN M, EVRIM Y, HAMAMCI C, AYGUN R S. Basic nutrients and element contents of white cheese of diyarbakır in Turkey. *Food Chem.* 2004; 87:163–171.
- MESCHY F. Recent progress in the assessment of minerals requirements of goats. *Liv Prod Sci.* 2000; 64:9-14.
- MESTAWET TA, GIRMA A, ADNOY T, DEVOLD TG, NARVHUS JA, VEGARUD GE. Milk production, composition and variation at different lactation stages of four goat breeds in Ethiopia. 2012; 105:176-181.
- MONIES B. Arsenic poisoning in cattle. *In Pract.* 1999; 21:602-607.
- MONTALDO H, ALMANZA A, JUÁREZ A. Genetic group, age and sea-son effects on lactation curve shape in goats. *Small Rum Res.* 1997; 24:195–202.
- MORAND-FEHR P, SAUVANT D. Composition and yield of goat milk as affected by nutritional manipulation. *J Dairy Sci.* 1980; 63: 1671-1680.
- MORENO-ROJAS R, AMARO-LÓPEZ, M, CARAL RUIZ C, GARCÍA GIMENO R, ZURERA COSANO G. Mineral content in Spanish sterilized milk. *Rev. Esp. Cienc. Tecnol Aliment.* 1994; 34:323-332.
- MULLIS LA, SPEARS JW, MCCRAW RL. Effects of breed (Angus vs. Simmental) copper and zinc source on mineral status of steers fed high dietary iron. *J Anim Sci.* 2003; 81:318-322.
- MUÑOZ JF. Ensayos de metabolismo en ganado caprino desde el nacimiento hasta la etapa de rumiante. Lactancia artificial. Tesis doctoral. Facultad de Veterinaria. Universidad de Córdoba. 1984.
- MBASSA M. Influence of pregnancy lactation and environment on some clinical chemical reference values in Danish Landrace dairy goats. *Comp Physiol Biochem.* 1991; 100:413-422.
- MC DOWELL LR. Minerals for grazing ruminants in tropical regions. University of Florida. Third Edition. 1997: 81p.

- MC LAUGHLIN MJ, PARKER DR, CLARKE JM. Metals and micronutrients-food safety issues. *Field Crops Res.* 1999; 60:143-163.
- MC MANAMAN JL, REYLAND ME, THROWER EC. Secretion and fluid transport mechanisms in the mammary gland: comparisons with the exocrine pancreas and the salivary gland. *J Mammary Gland Biol Neoplasia.* 2006; 11:249-268.
- NAVARRO-ALARCÓN M, CABRERA-VIQUE C, RUIZ-LÓPEZ D, OLALLA M, ARTACHO R, GIMÉNEZ R, QUINTANA V, BERGILLOS T. Levels of Se, Zn, Mg, Ca in commercial goat and cow milk fermented products: relationship with their chemical composition and probiotic starter culture. *Food Chem.* 2011; 129:1126-1131.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. (NRC). Arsenic in Drinking Water. National Academy of Sciences 1999; 7:299. <http://www.nap.edu/catalog/6444.html>.
- NEIGER R, NELSON N, MISKIMINS D, CASTER J, CASTER L. Bovine arsenic toxicosis. *J Vet Diagn Invest.* 2004; 16:436-438.
- NIELSEN FH, UTHUS EO. Arsenic. In: Frieden, E. (editor). *Biochemistry of the ultratrace elements.* New York, Plenum Press: 1984; 319-340.
- NICHOLSON FA, SMITH SR, ALLOWAY BJ, CARLTON-SMITH C, CHAMBERS BJ. An inventory of heavy metals input to agricultural soils in England and Wales. *Sci Total Environ.* 2003; 311:205-219.
- NORMA MEXICANA “Sistema producto leche - alimentos - lácteos - leche cruda de cabra – especificaciones fisicoquímicas, sanitarias y métodos de prueba”. NMX-F-728-COFOCALEC-2007.
- NORMA OFICIAL MEXICANA, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".NOM-127-SSA1-1994.
- NORMA OFICIAL MEXICANA, “Productos y servicios. Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado” NOM-184-SSA1-2002.

- NUTRIENT REQUIREMENTS OF GOATS: Angora, Dairy, and Meat Goats in Temperate and Tropical Countries. National Research Council (NRC). National Academy Press, Washington, DC, USA, Nutrient Requirements of Domestic Animals, Nr. 1981; 15, 91.
- NUTRIENT REQUIREMENTS OF SMALL RUMINANTS: Sheep, goats, cervids, and new world camelids. National Research Council of the National Academies (NRC). National Academies Press, Washington, DC, USA, 2007.
- OLIVER F, PÉREZ-GUZMÁN MD, PÉREZ EM, MONTORO V. Estudio de la influencia de la edad al primer parto sobre la producción lechera de cabras de raza Murciano-Granadina en Castilla-La Mancha. XXVI Jornadas Científicas y V Internacionales de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia. Sevilla, España. 20-22 de septiembre, 2001. p. 897-902. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla, España.
- OSWEILER GD. Metals and minerals. Toxicology, national veterinary medical series. Nieginski EA, Cann M, Dinkel AG, editors. Philadelphia, Williams and Wilkins. 1996; 179-212.
- O'CONNOR GA, BROBST RB, CHANEY RL, KINKAID RL, MCDOWELL LR, PIERZYNSKI GM, RUBIN A, VAN RIPEN GG. A modified risk assessment to establish molybdenum standard for land application of biosolids. J Environ Qual. 2001; 30:1490-1507.
- PALA A, SAVAS T. Persistency within and between lactations in morning, evening and daily test day milk in dairy goats. Arch Tierz Dumm. 2005; 48:396-403.
- PANHWAR F. Nutrition requirement of goat. Virtual library chemistry. Germany. 2005; 1-13.
- PARK YW, Goat milk-chemistry and nutrition. In: Park YW, Haenlein GFW. (Eds.), Handbook of Milk of Non-bovine Mammals. Blackwell Publishing Professional, Oxford, UK/Ames, Iowa, 2006; 34–58.

- PARK YW, CHUKWU HI. Macro-mineral concentrations in milk of two goat breeds at different stages of lactation. *Small Rum Res.* 1988; 1:157-166.
- PARK YW, JUÁREZ M, RAMOS M, HAENLEIN GFW. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Rum Res.* 2007; 68:88-113.
- PATIÑO PR, DA SILVA FCJ, PÉREZ PJ. Modelos de predicción de exigencias minerales para rumiantes. *Rev. Colombiana Cienc. Anim.* 2011; 3(2):344-365.
- PEERBOM JWC. General aspects of trace elements and health. *Sci Total Environ.* 1985; 42:1.
- PÉREZ CA, FERNÁNDEZ CA. Arsenic concentration in water and bovine milk in Cordoba, Argentina. Preliminary results. *J Dairy Sci.* 2005; 72:122-124.
- PERIS S. Características de la curva de lactación y aptitud al ordeño mecánico de cabras de raza Murciano-Granadina. 1994, 149 p. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. Facultad de Veterinaria, Barcelona, España.
- PERKIN ELMER. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrometry. The Perkin Elmer Co. Norwalk, CT U.S.A. 1994.
- PULS R. Mineral levels in animal health, Diagnostic data, 1994, 2nd ed. Clearbrook, Sherpa International.
- PRANKEL SH, NIXON RM, PHILLIPS CJC. Meta-analysis of feeding trials investigating cadmium accumulation in the livers and kidneys of sheep. *Environ Res.* 2004; 94:171-183.
- PRISM 5.03. Graph Pad Software, Inc. USA.
- RADOSTITS OM, GAY CC, BLOOD DC, HINCHCLIFF KW. *Veterinary medicine.* 9th ed. London, WB Saunders. 2000.
- RANJAN R, SWARUP D, NARRES R, PATRA RC. Enhanced erythrocytic lipid peroxides and reduced plasma ascorbic acid and alteration in blood

trace elements level in dairy cows with mastitis. *Vet Res Com.* 2005; 29:27-34.

- RASHED MN. Determination of trace elements in milk of some animals from Aswan (Egypt). *Intern. J Environ Anal Chem.* 1992; 48:41-50.
- RENNER E, SCHAAFSMA G, SCOTT KJ. Micronutrients in milk. *Micronutrients in Milk and Milk-Based Products* 1989; 1-70.
- RINCÓN F, MORENO R, ZURERA G, AMARO M. Mineral composition as a characteristic for the identification of animal origin of raw . *J Dairy Res.* 1994; 61:151-154.
- RODRÍGUEZ REM, SANZ AM, DÍAZ RC. Mineral content in goat's milk. *J Food Quality.* 2002; 25: 344-358.
- SAINI AL, GILL RS. Goat milk: An attractive alternative. *Indian Dairyman.* 1991; 42:562-564.
- SANDSTROM B, CEDERBLAD A, LÖNNERDAL B. Zinc absorption from human milk, cow's milk, and infant formulas. *Am J Dis Child.* 1983; 137(8): 726–729.
- SAS Statistical Analysis System. Institute Inc., Cary, NC, U.S.A.
- SEDKI A, LEKOUCH N, GAMON S, PINEAU A. Toxic and essential trace metals in muscle, liver and kidney of bovines from a polluted area of Morocco. *Sci Total Environ.* 2003; 317:201-205.
- SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (SIAP). SAGARPA Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- SIMOS E, VOUTSINAS LP, PAPPAS C P. Composition of milk of native Greek goats in the region of Metsovo. *Small Rum Res.* 1991, 4, 47–60.
- SOLIMAN GZA. Comparison of chemical and mineral content of milk from human, cow, buffalo, camel and goat in Egypt. *Egypt. J Hos Med.* 2005; 21: 116-130.

- STEFANON B, COLITTI M, GABAI G, KNIGHT CH, WILDE CJ. Mammary apoptosis and lactation persistency in dairy animals. *J Dairy Res.* 2002; 69:37-52.
- SWAISGOOD HE. Características de los fluidos líquidos de origen animal: Leche. En: *Química de los alimentos* ed. O. R. Fonnema. Ed. Acribia. Zaragoza. 1992; 889-930.
- SWAMY S, MATHUR O. Studies on zinc content of goat's milk. *Asian J Dairy Res.* 1985; 3:135–138.
- TAKMA C, AKBAS Y, TASKIN T. Modeling lactation curves of Turkish Saanen and Bornova goat. *Asian. J Ani Vet Adv.* 2009; 4:122-129.
- TOVERUD SU, HARPER C, MUNSON PL. Calcium metabolism during lactation and enhanced effects of thyrocalcitonin. *Endocrinology.* 1976; 99:371-378.
- TRIPATHI RM, RAGHUNATH R, SASTRY VN, KRISHNAMOORTHY TM. Daily intake of heavy metals by infants through milk and milk products. *Sci Tot Environ.* 1999; 227:229-235.
- UNDERWOOD EJ, SUTTLE NF. *The Mineral Nutrition of Livestock.* Commonwealth Agricultural Bureaux, London 1999.
- UNDERWOOD EJ, SUTTLE NF. *Los minerales en la nutrición del ganado.* Zaragoza, Ed. Acribia. 2003.
- UTHUS EO. Evidence for arsenic essentiality. *Environ Geochem Health.* 1992; 14:55–58.
- VOUTSINAS L, PAPPAS C, KATSIARI M. The composition of Alpine goat's milk during lactation in Greece. *J. Dairy Res.* 1990; 57: 41-51.
- WALSTRA P, JENNESS R. *Dairy chemistry and physics.* New York, Wiley 1984.
- WATIAUX M. *Composición de la leche y valor nutricional.* Instituto Babcock para la Investigación y Desarrollo Internacional de la Industria Lechera. Universidad de Wisconsin Madison 2003:4-21.

- WILDE CJ, KNIGHT CH. Metabolic adaptations in mammary gland during the declining phase of lactation. *J Dairy Sci.* 1989; 72:1679-1692.
- WOOD PDP. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature* 1967; 216:164-165.
- WOOD PDP. Breed variation in the shape of the lactation curve of cattle and their implications for efficiency. *J Ani Prod.* 1980; 34:133-141.
- WUSCHKO S, SEIFERT H. Lactation curve, milk yield and milk composition in African Dwarf Goats'. *Reihe Agrarwissenschaften.* 1992; 41:49-55.
- ZENG SS, ESCOBAR EN, POPHAM T. Daily variations in somatic cell count, composition, and production of Alpine goat milk. *Small Rum Res.* 1997; 26:253-260.